ORGANIZADORA

Lilian Coelho de Freitas

INNOVATE:

ENGENHARIA ELÉTRICA E DE COMPUTAÇÃO

Atena Editora

Ano 2023

ORGANIZADORA

Lilian Coelho de Freitas

INNOVATE:

ENGENHARIA ELÉTRICA E DE COMPUTAÇÃO

Atena
Editora
Ano 2023

Editora chefe
Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira
Editora executiva
Natalia Oliveira
Assistente editorial
Flávia Roberta Barão
Bibliotecária
Janaina Ramos
Projeto gráfico
Camila Alves de Cremo
Ellen Andressa Kubisty
Luiza Alves Batista
Nataly Evilin Gayde
Imagens da capa
iStock
Edição de arte
Luiza Alves Batista

CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA E ENGENHARIAS

Innovate: engenharia elétrica e de computação

Diagramação: Camila Alves de Cremo
Correção: Soellen de Britto
Indexação: Amanda Kelly da Costa Veiga
Revisão: Os autores
Organizadora: Lilian Coelho de Freitas

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

I58 Innovate: engenharia elétrica e de computação / Organizadora Lilian Coelho de Freitas. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2023.

Formato: PDF
Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader
Modo de acesso: World Wide Web
Inclui bibliografia
ISBN 978-65-258-1520-6
DOI: https://doi.org/10.22533/at.ed.206232707

1. Engenharia elétrica. 2. Engenharia de computação. I. Freitas, Lilian Coelho de (Organizadora). II. Título.

CDD 621.3

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

Atena Editora
Ponta Grossa – Paraná – Brasil
Telefone: +55 (42) 3323-5493
www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br

DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.

DECLARAÇÃO DA EDITORA

APRESENTAÇÃO

O e-book "*Innovate: Engenharia Elétrica e de Computação"* apresenta trabalhos desenvolvidos por alunos e professores de diferentes instituições educacionais do país. Dessa forma, torna-se um valioso referencial teórico para estudantes de Engenharia Elétrica e Computação que buscam aprofundar seus conhecimentos em tópicos inovadores.

O Capítulo I mostra os resultados do desenvolvimento de um Mapa Cognitivo Fuzzy Dinâmico (DFCM) baseado em algoritmos de aprendizagem de Hebb para controlar um misturador industrial. Os resultados são validados por meio de simulação e posteriormente embarcados na plataforma Arduino.

O Capítulo II apresenta um projeto de monitoria remota para a disciplina de Sistemas Discretos nos cursos de Ciência da Computação e Engenharia de Computação, da Universidade Federal de Pelotas. Ao final, os autores avaliaram diferentes plataformas de interação, como Discord, Meet, E-mail e E-aula.

O Capítulo III consiste em um estudo de diferentes configurações de controladores Fuzzy em processos industriais. Os autores destacam a eficácia dos controladores adaptativos DFCM e Fuzzy na gestão do processo de fermentação alcoólica, que converte açúcares em álcool etílico e dióxido de carbono.

O Capítulo IV discute a utilização do ChatGPT como ferramenta de apoio ao ensino de eletrônica. Neste trabalho, o ChatGPT é utilizado para auxiliar na criação de textos e melhoria de códigos. Os autores concluem que o uso dessa ferramenta tem sido satisfatório.

O capítulo V tem como objetivo construir um protótipo gerador de energia elétrica, utilizando elementos cerâmicos de material piezoelétrico, capaz de converter a energia mecânica de vibração em energia elétrica.

Finalizo, expressando meus sinceros agradecimentos aos autores deste *e-book*, pelas contribuições e pela parceria com a Atena Editora.

Aos nossos leitores, desejo um ótimo estudo!

Lilian Coelho de Freitas

SUMÁRIO

INTEGRATION OF DYNAMIC FUZZY COGNITIVE MAPS IN CONTROLLERS FOR ENHANCED SECURITY IN INDUSTRIAL PROCESSES AND ENVIRONMENTAL IMPACT MITIGATION

Data de aceite: 07/07/2023

Márcio Mendonça
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
PPGEM-CP - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica PP/CP
Cornélio Procópio – PR
http://lattes.cnpq.br/5415046018018708

Andressa Haiduk
Dimension Engenharia
Ponta Grossa – PR
http://lattes.cnpq.br/2786786167224165

Fabio Rodrigo Milanez
Faculdade da Industria Senai
Londrina-PR
http://lattes.cnpq.br/3808981195212391

Vicente de Lima Gongora
Faculdade da Industria Senai
Londrina-PR
http://lattes.cnpq.br/6784595388183195

Emerson Ravazzi Pires da Silva
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Departamento Acadêmico de Engenharia Elétrica (DAELE)
Cornélio Procópio – PR
http://lattes.cnpq.br/3845751794448092

Murilo da Silva
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Departamento Acadêmico de Engenharia Elétrica (DAELE)
Cornélio Procópio – PR
http://lattes.cnpq.br/2992895439496724

Matheus Gil Bovolenta
Acadêmico - Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Departamento Acadêmico de Engenharia Elétrica (DAELE)
Cornélio Procópio – PR
http://lattes.cnpq.br/1518815195539638

Janaína Fracaro de Souza Gonçalves
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
PPGEM-CP - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica PP/CP
Cornélio Procópio – PR
http://lattes.cnpq.br/1857241899832038

Ângelo Feracin Neto
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Departamento Acadêmico de Engenharia Elétrica (DAELE)
Cornélio Procópio – PR
http://lattes.cnpq.br/0580089660443472

Edinei Aparecido Furquim dos Santos
Centro universitário Uningá
Maringá - PR
http://lattes.cnpq.br/8706436030621473

Renato Augusto Pereira Lima
Inspetor Chefe da regional CREA Londrina.
Cornélio Procópio - PR
http://lattes.cnpq.br/3518337122740114

Wagner Fontes Godoy
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Departamento Acadêmico de Engenharia Elétrica (DAELE),
Cornélio Procópio - PR
http://lattes.cnpq.br/7337482631688459

Rodrigo Rodrigues Sumar
Universidade Tecnológica Federal do Paraná,
Departamento Acadêmico de Engenharia Elétrica (DAELE)
Cornélio Procópio - PR
http://lattes.cnpq.br/1461760661483683

Edson Luis Bassetto
Universidade Tecnológica Federal do Paraná,
Departamento Acadêmico de Engenharia Elétrica (DAELE)
Cornélio Procópio - PR
http://lattes.cnpq.br/5806912707344633

Francisco de Assis Scannavino Junior
Universidade Tecnológica Federal do Paraná Departamento Acadêmico de Engenharia Elétrica (DAELE)
Cornélio Procópio – PR
http://lattes.cnpq.br/4513330681918118

Gabriela Helena Bauab Shiguemoto
Universidade Tecnológica Federal do Paraná,
Departamento Acadêmico de Engenharia Elétrica (DAELE)
Cornélio Procópio - PR
http://lattes.cnpq.br/3301713295448316

ABSTRACT— This paper presents the application of certain intelligent techniques to control an industrial mixer The controller design is based on Hebbian modification of Fuzzy Cognitive Maps learning mechanism. This research develops a Dynamic Fuzzy Cognitive Map (DFCM) based on Hebbian Learning algorithms. Fuzzy Classic Controller was used to help validate simulation results of an industrial mixer controlled by DFCM. Experimental analysis of simulations in this control problem was conducted. The environmental impacts, and process security for industrial mixers are also addressed. Additionally, the results were embedded

using efficient algorithms into the Arduino platform to acknowledge the performance of the codes reported in this research.
KEYWORDS-Fuzzy Cognitive Maps; Hebbian Learning; Arduino Microcontroller; Process Control; Fuzzy Logic, Artificial Neural Networks

RESUMO - Este artigo apresenta a aplicação de certas técnicas inteligentes para controlar um misturador industrial. O design do controlador é baseado no mecanismo de aprendizagem de Modificações Hebbianas de Mapas Cognitivos Fuzzy. Esta pesquisa desenvolve um Mapa Cognitivo Fuzzy Dinâmico (DFCM) baseado em algoritmos de aprendizagem de Hebb. Foi usado um Controlador Clássico Fuzzy para ajudar a validar os resultados de simulação de um misturador industrial controlado por DFCM. Foi realizada uma análise experimental das simulações neste problema de controle. Os impactos ambientais e a segurança do processo para misturadores industriais também são abordados. Além disso, os resultados foram incorporados usando algoritmos eficientes na plataforma Arduino para reconhecer o desempenho dos códigos relatados nesta pesquisa.
PALAVRAS-CHAVE: Mapas Cognitivos Fuzzy, Aprendizado Hebbiano, Microcontrolador Arduino, Controle de Processos, Redes Neurais Artificiais

1 I INTRODUCTION

In general, some of the difficulties found in acquiring knowledge in different areas of engineering (such as robotics, control or process control) are: how to recognize the processes /systems; how to identify important variables and parameters; To classify the type of physical problem; To identify the family of mathematical models that can be associated; To select the method and / or tool for the search and analysis of the model.

Indeed, the final output of modern processes is greatly influenced by the selection of optimal set points for process variables. These set points have a profound impact on both the product quality characteristics and the overall performance metrics of the process (MARCHAL; GARCÍA; ORTEGA, 2017). Hence, the primary objective of this research is to develop knowledge-based techniques for process control in the domain of industrial mixers, which represents a classic problem in the field of Fuzzy Cognitive Maps. It is important to note that this work builds upon and expands the findings of a previous study (MENDONÇA et al., 2016).

The article proposal is a different setup, in special the initial situation and a comparison with a new controller using Fuzzy-Logic with ANN (artificial neural network). The motivation of this research is: developments in optimal control theory, robust control, and adaptive control, significantly expanding the automation concept and also studying the feasibility of an autonomous control in practice.

On the other hand, intelligent control techniques take control actions without depending on a complete or partial mathematical model. Otherwise, the ability of a human to find solutions to a particular problem is known as human intelligence. In short, human

beings can deal with complicated processes based on inaccurate and/or approximate information. The strategy adopted by them is also of imprecise nature and usually capable of being expressed in linguistic terms. Thus, by means of Fuzzy Logic concepts, it is possible to model this type of information (ZADEH, 1992).

In general, Fuzzy Cognitive Map (FCM) is a tool for modelling the human knowledge. It can be obtained through linguistic terms, inherent to Fuzzy Systems, but with a structure like the Artificial Neural Networks (ANN), which facilitates data processing, and has capabilities for training and adaptation. FCM is a technique based on the knowledge that inherits characteristics of Cognitive Maps and Artificial Neural Networks [4-6], with applications in different areas of knowledge [7-14]. Besides the advantages and characteristics inherited from these primary techniques, FCM was originally proposed as a tool to build models or cognitive maps in various fields of knowledge. It makes the tool easier to abstract the information necessary for modelling complex systems, which are similar in the construction to the human reasoning. Dynamic Fuzzy Cognitive Maps (DFCM) needs to be developed to a model that can manage behaviours of non-linear time-dependent system and sometimes in real time. Examples of different variation of the classic FCMs can be found in the recent literature, e.g., (PAPAGEORGIOU, 2014)

This paper has two objectives. First objective is the development of two controllers using an acyclic DFCM with same knowledge as this of Fuzzy and Fuzzy Neural Controller, and with similar heuristic, thus producing comparable simulated results. Second goal is to show an embedded DFCM in the low-cost processing microcontroller Arduino with more noise and disturbances (valve locking) to test the adaptability of the DFCM.

To succeed the goals, we initially use the similar DFCM proposed initially in [13] to control an industrial mixing tank. In contrary to (MENDONÇA et al., 2013), we use the Hebbian algorithm to dynamically adapt the DFCM weights. To validate our DFCM controller, we compared its performance with a Fuzzy Logic Controller. This comparison is carried out with simulated data.

2 | ENVIRONMENTAL IMPACTS

Industrial processes have significant impacts on the environment, particularly in relation to pollution, the use of natural resources, and the generation of waste. Industrial mixers, essential equipment in various industries such as chemical, food, pharmaceutical, and construction, also have environmental impacts that must be considered.

Firstly, industrial mixers consume energy to operate. Depending on the source of this energy, they can contribute to the emission of greenhouse gases. For example, if the energy comes from fossil sources such as coal or natural gas, the process of energy generation will result in the release of carbon dioxide, a potent greenhouse gas. Thus, one way to minimize this impact is to invest in energy efficiency and in renewable energy sources to power these

mixers.

In addition, industrial mixers can also contribute to air, water, and soil pollution, depending on the substances being mixed. Toxic or dangerous chemical substances may release fumes or waste that are harmful to the environment. To mitigate this impact, it is essential to ensure proper handling of materials and waste, and to seek less toxic alternatives whenever possible.

Industrial mixers, like other equipment, also have an environmental impact associated with their manufacturing and end of life. The production of these devices involves resource extraction, energy use, and waste generation, while improper disposal can result in soil and water contamination. A strategy to reduce these impacts is to adopt circular economy principles, aiming to maximize the equipment's lifespan through maintenance and repair, reusing or recycling components at the end of their life, and choosing materials and manufacturing processes with low environmental impact.

In summary, although industrial mixers and other industrial processes have significant environmental impacts, there are several strategies that can be adopted to minimize these impacts. This includes improving energy efficiency, using clean energy sources, proper handling of materials and waste, seeking fewer toxic alternatives, and adopting circular economy practices (BRINKLEY et al., 1997).

3 I SECURITY ASPECTS

A segurança na indústria é uma questão de extrema importância, especialmente quando se trata de operação de equipamentos como misturadores, que podem apresentar riscos significativos se não manuseados adequadamente. Alguns aspectos cruciais a serem considerados incluem:

1. **Treinamento e Conhecimento dos Operadores**: É essencial que os operadores dos misturadores estejam completamente familiarizados com o equipamento, incluindo a sua operação adequada, manutenção, limpeza e ação apropriada em caso de emergências. Isso geralmente requer treinamento regular e atualizações sobre os protocolos de segurança.

2. **Equipamentos de Proteção Individual (EPIs)**: Os operadores devem sempre usar equipamentos de proteção individual adequados. Isso pode incluir óculos de segurança, luvas, protetores auriculares e vestuário de proteção, dependendo da natureza do trabalho.

3. **Manutenção e Inspeção Regular**: Os misturadores devem ser submetidos a inspeções regulares para garantir que estão em condições de trabalho seguras. Qualquer equipamento desgastado ou danificado deve ser reparado ou substituído imediatamente.

4. **Procedimentos de Emergência**: Deve haver procedimentos claros sobre o que fazer em caso de emergência, incluindo como desligar rapidamente o equipamento

e como acessar equipamentos de primeiros socorros e saídas de emergência.

5. **Sistemas de Bloqueio/Etiquetagem (Lockout/Tagout)**: Esses sistemas são projetados para garantir que o equipamento não possa ser operado enquanto estiver em manutenção ou inspeção.

6. **Avaliação de Riscos**: Deve-se realizar regularmente uma avaliação de riscos para identificar possíveis perigos e implementar medidas para mitigar esses riscos. Isso pode incluir a consideração de questões como a probabilidade de respingos de produtos químicos, a geração de poeira ou gases perigosos, a operação em ambientes potencialmente explosivos e outros riscos associados à operação do misturador.

7. **Conformidade com as Normas de Segurança**: As operações devem estar sempre em conformidade com as normas de segurança locais e nacionais, bem como qualquer outra legislação aplicável.

No geral, a segurança na operação de misturadores na indústria requer um compromisso constante com o treinamento, a manutenção, a avaliação de riscos e a conformidade com as normas de segurança (TENEVA et al., 2018).

4 | DEVELOPMENT

To demonstrate the evolution of the proposed technique (DFCM) we will use a case study well known in the literature as seen in [2, 5] and others. This case was selected to illustrate the need for refinement of a model based on FCM built exclusively with knowledge. The process shown in Fig. 1 consists of a tank with two inlet valves for different liquids, a mixer, an outlet valve for removal of the final product and a specific gravity meter that measures the specific gravity of the produced liquid. In this research, to illustrate and exemplify the operation of the industrial mixer, the liquids are water with specific gravity 1 and soybean oil with a specific gravity of about 0.9.

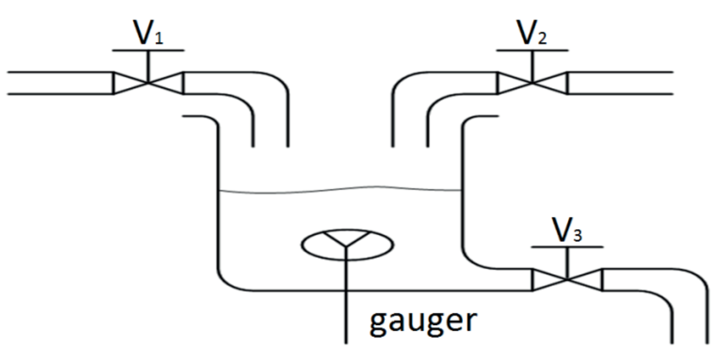


Figure 1 - Mixer tank (Source: adapted from [20]).

Valves (V1) and (V2) insert two different liquids (specific gravities) in the tank. During the reaction of the two liquids, a new liquid characterized by its new specific gravity value is produced. At this time, the valve (V3) empties the tank in accordance with a campaign output flow, but the liquid mixture should match the specified levels of the volume and specific gravity.

Although relatively simple, this process is a TITO (Two Inputs Two Outputs) type with coupled variables. To establish the quality of the control system of the produced fluid, a weighting machine placed in the tank measures the (specific gravity) produced liquid.

When the value of the measured variable G (liquid mass) reaches the range of values between the maximum and minimum [Gmin, Gmax] specified, the desired mixed liquid is ready. The removal of liquid is only possible when the volume (V) is in a specified range between the values [Vmin and Vmax]. The control consists of to keep these two variables in their operating ranges, as:

$$V_{min} < V < V_{max} \qquad (1)$$

$$G_{min} < G < G_{max} \qquad (2)$$

In this study, it was tried to limit these values from approximately the range of 810 to 850 [mg] for the mass and approximately the range of 840 to 880 [ml] for the volume. The initial values for mass and volume are 800mg and 850ml respectively. According to Papageorgiou and collaborators (PAPAGEORGIOU; STYLIOS; GROUMPOS, 2007), through the observation and analysis of the process, it is possible for experts to define a list of key concepts related to physical quantities involved. The concepts and cognitive model are:

- Concept 1 - State of the valve 1 (closed, open or partially open).
- Concept 2 - State of the valve 2 (closed, open or partially open).
- Concept 3 - State of the valve 3 (closed, open or partially open).
- Concept 4 - quantity of mixture (volume) in the tank, which depends on the operational state of the valves V1, V2 and V3.
- Concept 5 - value measured by the G sensor for the specific gravity of the liquid.

Considering the initial proposed evolution for FCM we use a DFCM to control the mixer which should maintain levels of volume and mass within specified limits.

The process model uses the mass conservation principle to derive a set of differential equations representing the process used to test the DFCM controller. As a result, the tank volume is the volume over the initial input flow of the inlet valves V1 and V2 minus the outflow valve V3, this valve V3 and the output campaign was introduced in this work to increase the complexity original process [20]. Similarly, the mass of the tank follows the same principle as shown below. The values used for m_{e1} and m_{e2} were 1.0 and 0.9, respectively.

$$V_{tank} = V_i + V_1 + V_2 - V_3 \qquad (3)$$

$$Weight_{tank} = M_i + (V_1 m_{e1}) + (V_2 m_{e2}) - M_{out} \qquad (4)$$

5 I FUZZY CONTROLLER DEVELOPMENT

To establish a correlation and a future comparison between techniques, a Fuzzy Controller was also developed. The Fuzzy rules base uses the same heuristic control strategy and conditions.

Fuzzy logic has proved to can provide satisfactory non-linear controllers even when only the nominal plant model is available, or when plant parameters are not known with precision [22-24]. Fuzzy Control is a technique used for decades, especially in process controlling (ZADEH, 1992).

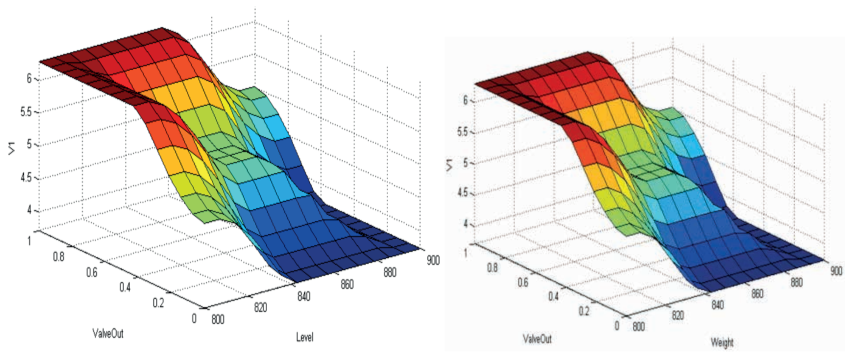


Figure 2 - Fuzzy Controller Surfaces, V1 and V2.

It is a motivation to validate DFCM, so in this study it was used the same approach for two controllers, with two different formalisms. It isn't in the scope to discuss the development of the Fuzzy Controller, but some details of the structure are pertinent: functions are triangles and trapezoidal and 6 rules are considered in its base. The surface of this controller is showed in Fig. 2. Moreover, the rules are symmetric and similar by two output valves; in this specific case the surface of valve 2 is the same as in valve 1. The examples of base rules are:

1. If (Level is medium) or (Valve Out is medium) then (V1 is medium) and (V2 is medium).

2. If (Level is high) or (Valve Out is low) then (V1 is low) and (V2 is low).

3. If (Weight is medium) or (Valve Out is medium) then (V1 is medium) and (V2 is medium).

The rules and structure of the Fuzzy Controller used on its development was based on the DFCM heuristic.

Figure 3 show structure with same variables input and output like DFCM.

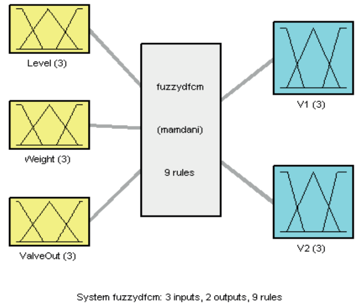


Figure 3 - Fuzzy Structure.

A Fuzzy-ANN cascade controller had its ANN (multilayer perceptron) trained with the output data of the Fuzzy controller. The topology was empirically chosen by observing the learning time and output error. Therefore, 200 neurons were used on its hidden layer. Moreover, there were used 6000 points from inside the control region.

5.1 DFCM development

The structure of the DFCM controller is similar to the developed Fuzzy controller, using same heuristics, e.g., if the output valve (V3, in accordance to Fig. 1) increases its flow, the inlet valves (V1 and V2) increase too. In other hand, in case volume and weight of the mixture increase, the inlet valves decrease. For example, the relationships W54 and W53, in the DFCM, are similar in effects or control actions of the Fuzzy controller’s base rules.

The development of the DFCM is made through three distinct stages. First, the DFCM is developed as structure, concepts, and causal relationships, like a classic FCM, where concepts and causal relationships are identified through sensors and actuators of the process. The concepts can be variables and/or control actions, as already mentioned.

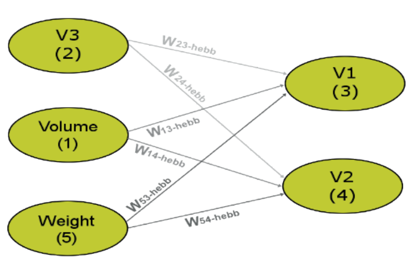


Figure 4 - DFCM Controller

The output valve is defined by a positive relationship, i.e., when the campaign increases, the output flow (V3) also increases, similarly, the input valves increase too; moreover, when the mixture volume and weight increase, V1 and V2 decrease. In both cases, the flow of the valves increases or decreases proportionally. The second development stage is the well-known Genetic Algorithm (GOLDBERG; DEB, 1991) The Fig. 4 shows the schematic graph of a DFCM controller.

In this research, the initial values of causal relationships are determined through genetic algorithms. The genetic algorithm used is a conventional one, with a population of 20 individuals, simple crossing and approximately 1% of mutation. The chromosomes were generated by real numbers with all the DFCM weights, individuals were random, and the initial method of classification was the tournament method with 3 individuals.

Finally, the fitness function for simplicity considers the overall error of the two desired outputs with 60 generations of the Genetic Algorithm proposed, it stabilizes and reaches the initial solution for the opening of the valves, approximately 42%.

Table 1 shows initial values of the DFCM weighs. Different proposals and variations of this method applied in tuning FCM can be found [16].

W23	***W24***	***W13***	***W14***	***W53***	***W54***
-0.23	-0.26	-0.26	-0.26	0.23	0.15

TABLE I. Initials Casual Relationship Weights

The third stage of the DFCM development concerns the tuning or refinement of the model for dynamic response of the controller. In this case, when a change of output set-point in the campaign occurs, the weights of the causal relationships are dynamically tuned. To perform this, function a new kind of concept and relation was included in the cognitive model.

To dynamically adapt the DFCM weights we used the Hebbian learning algorithm for FCM that is an adaptation of the classic Hebbian method (KOSKO, 1986). Different proposals and variations of this method applied in tuning or in learning for FCM are known in the literature, for example (MENDONÇA et al., 2013). In this paper, the method is used to update the intensity of causal relationships in a deterministic way according to the variation or error in the intensity of the concept or input process variable, equations 5 and 6 show this. Specifically, the application of Hebbian learning algorithm provides control actions as follows: if the weight or volume of the liquid mixture increases, the inlet valves have a causal relationship negatively intensified and tend to close more quickly. On the other hand, if the volume or weight mixture decreases, the inlet valves have a causal relationship positively intensified. The mathematical equation is presented in (GLYKAS, 2010).

$$W_i(k) = W_{ij}(k-1) \pm \gamma \Delta A_i \qquad (5)$$

Where: ΔAi is the concept variation resulting from causal relationship, and it is given by ΔAi = Ai (k)-Ai (k-1), γ is the learning rate at iteration k.

This version of the Hebbian algorithm is an evolution of the two proposals in (PAPAGEORGIOU, 2014).

Causal relationships that have negative causality has negative sign and similarly to positive causal relationships. The equations applied in this work are adapted of the original version.

$$W_i(k) = k_p * (W_{ij}(k-1) - \gamma * \Delta A_i) \qquad (6)$$

Where: γ=1 for all, and **kp** is different for every weight pairs. It has their assigned values empirically by observing the dynamics of process performance, recursive method, **kp** =40 for (W14; W23), **kp** =18 for (W13; W24) and kp =2.35 for (W53; W54), with normalized values.

The DFCM inference is like Classic FCM [4], and the inference equations are shown below (equation 7 and 8).

$$\mathrm{A_i} = f\left(\sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{n} (\mathrm{A_j} \cdot \mathrm{W_{ji}})\right) + \mathrm{A_i^{previous}} \qquad (7)$$

$$\mathrm{f(x)} = \frac{1}{1+e^{-\lambda x}} \qquad (8)$$

Figure. 5 shows the results of Hebbian Learning Algorithm for FCM considering the variations ΔAi of the concepts concerning volume, weight, outlet valve state, and the weights of the causal relationship in the process. This figure also shows the evolution of the weights of the causal relationships during the process into a range of [-1, 1].

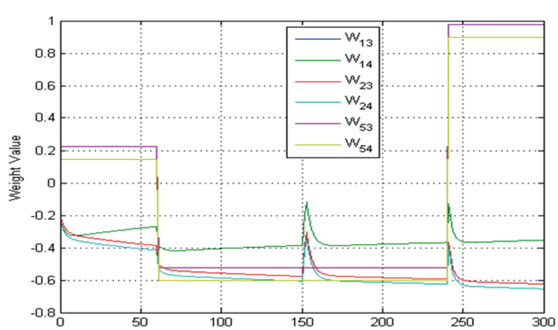


Figure 5 - Evolution of the weights in the Hebbian Learning

6 I SIMULATED EXPERIMENTAL RESULTS

The results of DFCM are shown in Fig. 6, which show the behavior of the controlled

variables within the predetermined range of the volume and weight of the mixture. It is noteworthy that the controller keeps the variables in the control range and pursues a trajectory according to a campaign, where the output flow is also predetermined. In this initial experiment, a campaign with a sequence of values ranging from 7, 5 and 11 ml/min can be a set-point output flow (outlet valve). Similarly, the results of the Fuzzy Controller are shown in Fig. 7.

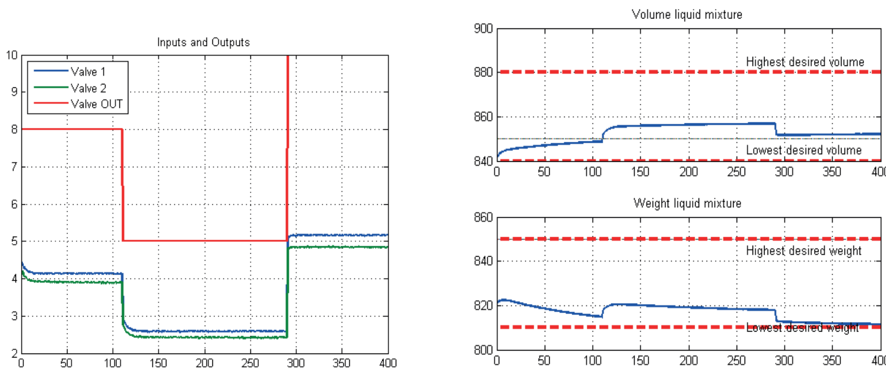


Figure 6 - Valve and Results of the DFCM Controller

Table 2 shows that the simulated numeric results of the DFCM controller had a similar performance compared to the conventional Fuzzy Logic Controller, and DFCM embedded in Arduino with small difference in same conditions, with simulated small noise.

	DFCM	***DFCM-Arduino***	***Fuzzy Logic***	***Fuzzy-ANN***
	Max-Min	**Max-Min**	**Max-Min**	**Max-Min**
Volume Mix (ml)	13.6	16.9	31.2	51.9
Weight Mix (mg)	17.1	14.1	27.5	31.2

TABLE II. Quantitative results

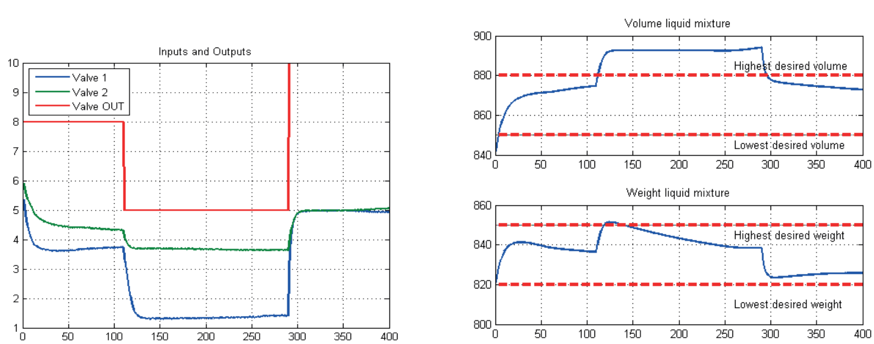


Figure 7 - Results of the Fuzzy Controller

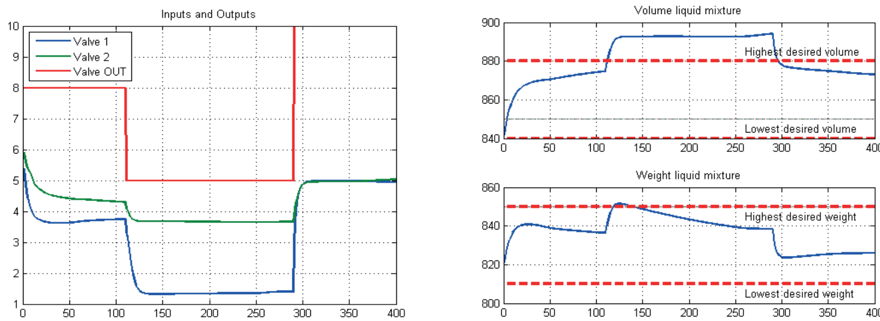


Figure 8 - Valves and Results of the Fuzzy-ANN Controller

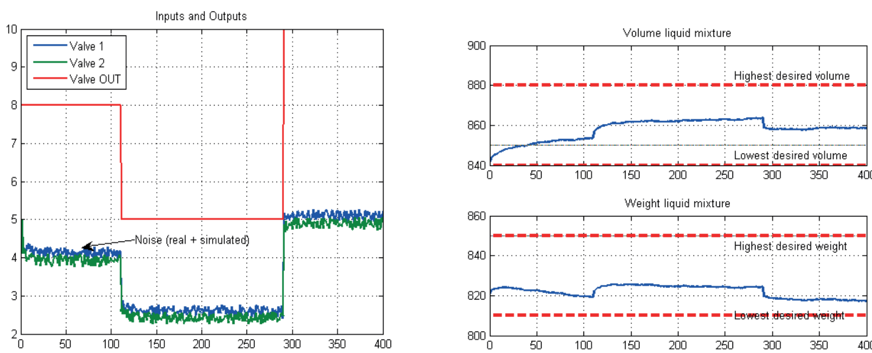


Figure 9 - Valves and Results of the Arduino embedded DFCM

To extend the applicability of this work, the developed DFCM controller is embedded into an Arduino platform which ensures the portability of the FCM generated code. Arduino is an open-source electronic prototyping platform.

The equations for volume and weight are calculated by Matlab, simulating the process. Through a serial communication established with Arduino, Matlab sends the current values of volume, weight and output valve to Arduino that receives these data, calculates the values of the concept 1 (valve 1) and concept 2 (valve 2) and then returns these data to Matlab.

Figure. 9 shows the results obtained with the Arduino platform providing data of the actuators, Valve 1 and Valve 2, with Matlab performing data acquisition. The algorithm switches the sets of causal relations that operate similarly to a DFCM simulated with noise and disturb in the valve 1. The noise in Fig. 9 is the sum of the real noise, observed in data transference between Arduino and Matlab, and a simulated white noise. Equation (9) shows the composition of the experiment noise.

$$Noise_{Experiment} = Noise_{Simulated} + Noise_{Arduino-Matlab} \quad (9)$$

7 | CONCLUSION

In conclusion, this study has highlighted the significance of incorporating Fuzzy Cognitive Maps (FCM) in the field of embedded control, while also considering the environmental impacts and security aspects. The simulation results demonstrated comparable performance among the three controllers, with a slight advantage observed for the DFCM controller, regardless of whether an Arduino microcontroller was utilized. This adaptive nature of the DFCM controller was a noteworthy feature. Although both controllers produced similar outcomes, the implementation of Fuzzy-Artificial Neural Network (Fuzzy-ANN) did not exhibit any significant improvements, except for a minor reduction in noise, which holds particular importance in industrial plants.

Furthermore, the data obtained from the Arduino microcontroller revealed that the controlled variables remained within desirable ranges when employing the DFCM embedded in the platform. This observation suggests that the DFCM codes possess low computational complexity, thanks to the simplicity of its inference mathematical processing. Consequently, this study highlights the portability and feasibility of developing DFCM controllers on low-cost platforms, emphasizing their potential for widespread adoption.

However, to provide a more comprehensive conclusion, future studies should explore real prototypes, which would offer a more realistic assessment of the DFCM controller's performance. Additionally, it would be valuable to compare other controllers with dynamic adaptation capabilities, such as adaptively fuzzy controllers and ANFIS, to further enhance the understanding of their effectiveness in embedded control systems. Considering the potential environmental impacts and security aspects in such comparative studies would provide a more holistic evaluation of the controllers' applicability and overall performance.

REFERENCES

MARCHAL, P. C.; GARCÍA, J. G.; ORTEGA, J. G. Application of Fuzzy Cognitive Maps and Run-to-Run Control to a Decision Support System for Global Set-Point Determination. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems, vol. PP, no. 99, pp. 1-12, 2017.

MENDONÇA, M.; NEVES JR, F.; ARRUDA, L. V. R.; PAPAGEORGIOU, E.; CHRUN, I. Embedded Dynamic Fuzzy Cognitive Maps for Controller in Industrial Mixer. In: 8th International KES Conference on Intelligent Decision Technologies KES-IDT-16, 2016, Tenerife. KES-IDT-16, 2016. P. 1-10.

ZADEH, L. A. An introduction to Fuzzy logic applications in intelligent systems. Boston: Kluwer Academic Publisher, 1992.

KOSKO, B. Fuzzy cognitive maps. International Journal Man-Machine Studies, v. 24, n. 1, p. 65-75, 1986.

PAPAGEORGIOU, E.; STYLIOS, C.; GROUMPOS, P. A. Combined Fuzzy cognitive map and decision trees model for medical decision making. Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, v. 1, p. 6117-6120, 2006.

PAPAGEORGIOU, E. I. Fuzzy Cognitive Maps for Applied Sciences and Engineering from Fundamentals to Extensions and Learning Algorithms. Springer, 2014.

MENDONÇA, M.; ANGÉLICO, B.; ARRUDA, L. V. R.; NEVES, F. A dynamic fuzzy cognitive map applied to chemical process supervision. Engineering Applications of Artificial Intelligence, v. 26.

GOLDBERG, D. E.; DEB, K. A comparative analysis of selection schemes used in genetic algorithms. In: Foundations of Genetic Algorithms (FOGA). ISBN 1558601708. pp. 69-93. Morgan Kaufmann, 1991.

A.; NIKOLOVA-ALEXIEVA, V.; YANEVA, A. Concept Model for Assessment of the Economic Security Level in Food Industry Enterprises. In: International Conference on High Technology for Sustainable Development (HiTech), 2018, Sofia, Bulgaria. Proceedings... Sofia: Publisher, 2018. p. 1-3.

BRINKLEY, A.; KIRBY, J. R.; CHARRON, F. A joint industry approach to environmental impact evaluation of electrical and electronic products. In: Proceedings of the 1997 IEEE International Symposium on Electronics and the Environment. ISEE-1997, San Francisco, CA, USA, 1997.

A MATEMÁTICA DISCRETA DA COMPUTAÇÃO NO ENSINO REMOTO

Data de aceite: 07/07/2023

Heitor Silva Avila
Universidade Federal de Pelotas

Luciana Foss
Universidade Federal de Pelotas

Simone André Da Costa Cavalheiro
Universidade Federal de Pelotas

1 I INTRODUÇÃO

Durante o Ensino Remoto Emergencial, vários obstáculos foram encontrados para o ensino de fundamentos lógicos e matemáticos e o ensino da matemática discreta aos ingressantes dos cursos de Computação. O distanciamento impactou diretamente na forma na qual os conteúdos eram abordados: os conceitos eram apresentados em videoaulas de forma assíncrona e as dúvidas sanadas em encontros síncronos. Porém, mesmo com a possibilidade de um replay, ainda havia alunos que não conseguiam compreender por completo os conceitos de maneira satisfatória. Devido a fatores como esse, foi idealizado o projeto de monitoria remota para a disciplina de Sistemas Discretos nos cursos de Ciência da Computação e Engenharia de Computação, da Universidade Federal de Pelotas.

A disciplina de Sistemas Discretos faz parte do rol de disciplinas do primeiro semestre de cada curso. Ela pode ser considerada uma das mais difíceis, visto que é fortemente baseada na matemática e depende ativamente de fundamentos lógicos e de conceitos que muitas vezes os alunos não conhecem ao ingressar no ensino superior, por diversos motivos. O objetivo da disciplina é também deixar o aluno preparado para as próximas disciplinas da grade curricular do curso de Ciência da Computação, como Análise Combinatória e Teoria dos Grafos, e Linguagens Formais, que fazem uso dos fundamentos aqui vistos.

A disciplina foi conduzida usando o modelo de sala de aula invertida, onde os alunos deveriam: assistir o material gravado na forma de vídeos; preencher uma autoavaliação, a qual era usada para o preparo do encontro síncrono; e realizar exercícios. Como atividades da monitoria,

além de encontros semanais síncronos para o esclarecimento de dúvidas, dava-se apoio assíncrono para esclarecimento de dúvidas e feedbacks sobre o desenvolvimento dos exercícios.

A fundamentação teórica do projeto foi fornecida pelas professoras ministrantes da disciplina em 2021, na indicação da bibliografia básica (GERSTING, 1995; MENEZES 2005), incluindo livros que trabalham com uma abordagem simples e que são ricas fontes de conteúdo. Por exemplo, GERSTING (1995) tem como principal característica os fundamentos necessários para “mergulhar” no universo matemático computacional, com várias listas de exercícios, permitindo enraizar desde os conceitos mais simples, como conjuntos, até conceitos mais elaborados, como grafos e suas aplicações em sistemas de computação. Paralelamente, MENEZES (2005), com linguagem acadêmica mais simples ainda, apresenta todos os conteúdos trabalhados na disciplina, define os conceitos envolvidos e exemplifica-os no contexto da Computação.

Neste artigo apresenta-se, na Seção 2, a metodologia abordada na monitoria da disciplina e, na Seção 3, os resultados obtidos. Na Seção 4 são feitas as considerações finais.

2 | METODOLOGIA

Estabeleceu-se então, junto aos alunos, que o projeto de monitoria remota iria dispor de um período semanal de 2 horas para atendimento síncrono e um espaço para atendimento assíncrono no ambiente e-AULA (Ambiente Virtual de Aprendizagem) para esclarecimento de dúvidas e/ou revisão de conteúdo, a partir de outra linguagem e/ou ponto de vista.

Os alunos passaram a dispor de duas formas de contato institucionais com os monitores por meio da plataforma Discord e e-AULA, onde todos poderiam receber atendimento síncrono ou assíncrono, conforme disponibilidade.

Semanalmente, foram disponibilizadas listas de exercícios e os alunos recebiam *feedbacks* semanais sobre suas respostas, bem como um índice, de 0 a 10, indicando a sua evolução semanal ao longo do semestre. Com base nos retornos recebidos, os alunos eram estimulados a contatar a monitoria para esclarecer suas dúvidas.

Atividades esporádicas eram também propostas, quando se notava a presença de alunos *on-line* na plataforma Discord, promovendo discussões assíncronas para tratar sobre o andamento da disciplina de Sistemas Discretos, em linguagem amigável e sempre recreativa de forma a trazer um tom acolhedor aos novos alunos dos cursos da Computação.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante o semestre, toda vez em que foi prestado atendimento, foi efetuado o registro em planilha eletrônica onde consta a plataforma utilizada, identificação do aluno, data e

conteúdos abordados, assim consolidando 40 atendimentos na Ciência da Computação e 7 na Engenharia da Computação. As informações, resumidas na Tabela 1, foram usadas na elaboração do relatório final da monitoria.

Com base nesses registros, pode-se perceber que tanto na Ciência da Computação quanto na Engenharia da Computação, os alunos tiveram preferência maior pelo Discord do que os outros canais de comunicação.

Plataforma	Ciência da Computação	Engenharia da Computação
Discord	26	6
Meet	11	0
Email	2	0
e-AULA	1	1

Tabela 1 — Atendimentos por plataforma

Se analisarmos a quantidade de utilizações de cada plataforma desconsiderando dois ou mais atendimentos realizados para um mesmo aluno, os resultados continuam os mesmos. O Discord é o meio de comunicação preferido entre os alunos. Na Tabela 2 é possível verificar a quantidade de alunos atendidos em cada plataforma.

Plataforma	Ciência da Computação	Engenharia da Computação
Discord	9	3
Meet	6	0
Email	1	0
e-AULA	1	1

Tabela 2 — Alunos atendidos por plataforma

Nos atendimentos síncronos, observa-se que o uso de uma mesa digitalizadora facilitaria o desenvolvimento dos exercícios. O uso de teclado e mouse, muitas vezes, tornava lenta a explicação dos exercícios ou forçava o monitor a recorrer para outras plataformas. Em alguns casos, passou-se a usar ferramentas de formatação de fórmulas do Microsoft Word.

Muitos alunos estavam se deparando pela primeira vez com o ensino remoto, um ambiente onde o aluno é o principal protagonista da sua história acadêmica, sem o contato humano presencial, que muitas vezes pode manter a memória ativa do aluno e até mesmo maximizar o seu foco em um ambiente de estudo adequado.

Foi necessário não apenas para os alunos, mas também para o projeto de monitoria ver o que realmente era um ambiente adequado para estudar. Muitas vezes os alunos encontravam-se em situações próximas a obras, ruídos externos e fatores de força maior

que não podiam ser contidos e ainda assim existia o compromisso de permanecer ativo em sua jornada acadêmica para conseguir os resultados almejados.

Houve uma conversa entre os monitores e os alunos em um encontro assíncrono por meio da plataforma Discord, onde houve a troca de experiências interpessoais “de aluno para aluno” para que todos conseguissem tirar proveito de algum aprendizado.

Para ajudar no desenvolvimento acadêmico dos alunos, foram desenvolvidas “folhas resumo” com as principais definições matemáticas abordadas ao longo da disciplina, com o objetivo de evitar a memorização e sintetizar as informações tratadas em aula, bem como estimular a interpretação da linguagem matemática, de forma que os alunos aprendessem a ler as definições formais (matemáticas) dos conceitos, sem precisar recorrer à linguagem natural, que muitas vezes pode resultar em definições longas e ambíguas.

Percebe-se também uma participação menos ativa dos alunos da Engenharia da Computação, pois, por mais publicidade que fosse feita sobre os encontros síncronos e/ou assíncronos, havia uma baixa procura dos alunos, sendo dos 36 matriculados, apenas 3 alunos fizeram uso dos espaços de monitoria disponibilizados.

Semanalmente, o projeto de monitoria realizou encontro síncrono reservado com as professoras ministrantes, nos quais foram apontadas as maiores dificuldades dos alunos, viabilizando a retomada de conteúdos que ainda não estavam claros após os atendimentos tradicionais.

No final do semestre os alunos das duas turmas foram convidados a responder uma pesquisa anônima sobre a disciplina e a monitoria. Havia uma questão sobre a monitoria, a qual solicitava: “Selecione as atividades de monitoria das quais você participou”. A Tabela 3 mostra as respostas para essa questão.

Curso de origem	Monitoria Síncrona	Fóruns de Discussão	Grupos de Estudo	Nenhuma
Ciência da Computação	10	8	14	12
Engenharia da Computação	3	2	5	18

Tabela 3 — Participação das Atividades da Monitoria por Curso*.*

No campo de sugestões de melhoria, os alunos relataram que gostariam de que houvesse a criação de grupos de WhatsApp, Discord e Telegram para acompanhamento paralelo durante a disciplina.

O projeto encontra-se concluído, uma vez que o semestre 2021/1 foi ministrado no segundo semestre do ano civil de 2021.

Ainda se percebe a necessidade que os alunos possuem de serem acolhidos fora da sala de aula, seja ela física ou virtual, pois quando participam de um projeto de monitoria

ativa, os mesmos passam a apresentar uma interação maior e consequentemente acabam até mesmo desfazendo más impressões iniciais que a matemática possa ter lhe causado no ensino médio.

4 I CONCLUSÕES

O projeto atingiu o seu objetivo, todos os alunos atendidos obtiveram êxito em sua aprovação e grau final satisfatório. Conclui-se que o ensino remoto emergencial propiciou aos alunos e professores experimentar novas formas de ensino, estas mais dinâmicas, visuais e interativas, que muitas vezes acabaram por contornar dificuldades que os alunos apresentaram.

Percebe-se como diferencial uma proposta de monitoria ativa, pois estimula que os alunos não tenham timidez e mostra que é extremamente normal ter dúvidas ou não saber de algo, reforçando que a universidade existe para que nós todos consigamos adquirir novos conhecimentos.

REFERÊNCIAS

GERSTING; Judith, **Fundamentos Matemáticos para a Ciência da Computação – 3ª edição**, Editora LTC, 1995.

MENEZES, Paulo Blauth, **Matemática Discreta para Computação e Informática. Série Livros Didáticos** – Instituto de Informática da UFRGS, Editora Sagra Luzzatto S/A, 2005.

COMPUTAÇÃO, PET. **Servidor "Computação UFPel".** Disponível em: <https://discord.gg/akn5wV7/>. Acesso em: 28 de maio de 2022.

CAPÍTULO 3

APLICAÇÕES DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL, EM ESPECIAL DIFERENTES CONFIGURAÇÕES DE CONTROLADORES-FUZZY EM PROCESSOS INDUSTRIAIS

Data de aceite: 07/07/2023

Márcio Mendonça
Departamento Acadêmico de Engenharia Elétrica (DAELE)
Cornélio Procópio – PR
http://lattes.cnpq.br/5415046018018708

Renato Augusto Pereira Lima
Inspetor Chefe CREA Cornélio Procópio
Cornélio Procópio – PR
http://lattes.cnpq.br/3518337122740114

Andressa Haiduk
Dimension Engenharia
Ponta Grossa - PR
http://lattes.cnpq.br/2786786167224165

João Maurício Hypólito
Departamento Computação-FATEC
Ourinhos - SP
http://lattes.cnpq.br/5499911577564060

Emerson Ravazzi Pires da Silva
Departamento Acadêmico de Engenharia Elétrica (DAELE)
Cornélio Procópio – PR
http://lattes.cnpq.br/3845751794448092

Marcos Antônio de Matos Laia
Departamento De Ciência Da Computação – UFSJ
Sâo Joâo Del Rey
Minas Gerais – MG
http://lattes.cnpq.br/7114274011978868

Michelle Eliza Casagrande Rocha
Universidade Norte do Paraná – Unopar – Kroton
Londrina - PR
http://lattes.cnpq.br/7114274011978868

Gabriela Helena Bauab Shiguemoto
Departamento Acadêmico de Engenharia Elétrica (DAELE)
Cornélio Procópio – PR
http://lattes.cnpq.br/3301713295448316

Fabio Rodrigo Milanez
Faculdade da Industria Senai
Londrina - PR
http://lattes.cnpq.br/3808981195212391

Vicente de Lima Gongora
Faculdade da Industria Senai
Londrina - PR
http://lattes.cnpq.br/6784595388183195

Wagner Fontes Godoy
Departamento Acadêmico de Engenharia Elétrica (DAELE)
Cornélio Procópio – PR
http://lattes.cnpq.br/7337482631688459

Gustavo Henrique Bazan
Instituto Federal do Paraná, Campus Jacarezinho
Jacarezinho-Pr
http://lattes.cnpq.br/7076940949764767

Marcio Aurélio Furtado Montezuma
Departamento Acadêmico de Engenharia Mecânica (DAMEC)
Cornélio Procópio – PR
http://lattes.cnpq.br/2487283169795744

Janaína Fracaro de Souza Gonçalves
Departamento Acadêmico de Engenharia Mecânica (DAMEC)
Cornélio Procópio – PR
http://lattes.cnpq.br/1857241899832038

Luiz Henrique Geromel
IFSP Instituto Federal de São Paulo -Campus Piracicaba – SP
Piracicaba - SP
http://lattes.cnpq.br/3945660888230811

Guilherme Cyrino Geromel
IFSP Instituto Federal de São Paulo -Campus Piracicaba – SP
Piracicaba - SP
http://lattes.cnpq.br/7535398878830738

RESUMO: Os fermentadores alcoólicos são equipamentos essenciais na realização do processo de fermentação alcoólica, que converte açúcares em álcool etílico e dióxido de carbono. Esses equipamentos são utilizados na produção de bebidas alcoólicas, como cerveja, vinho e destilados. A escolha do fermentador adequado depende do volume de produção desejado e das características do processo. Existem fermentadores abertos e fechados, que diferem na troca de oxigênio com o ambiente e no controle das condições de fermentação. O design e os materiais dos fermentadores também são importantes para garantir a eficiência e a higiene do processo. Geralmente, são feitos de aço. Este trabalho se encerra com conclusão e sugestão de futuros trabalhos
PALAVRAS-CHAVE: Fermentador alcoólico, Mapas Cognitivos Fuzzy, controle adaptativo.

APPLICATIONS OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE, PARTICULARLY DIFFERENT CONFIGURATIONS OF FUZZY CONTROLLERS IN INDUSTRIAL PROCESSES

ABSTRACT: Alcoholic fermenters are essential equipment in the execution of the alcoholic fermentation process, which converts sugars into ethyl alcohol and carbon dioxide. These devices are used in the production of alcoholic beverages, such as beer, wine, and distilled spirits. The choice of suitable fermenter depends on the desired production volume and the characteristics of the process. There are open and closed fermenters, which differ in oxygen exchange with the environment and in the control of fermentation conditions. This work concludes with a conclusion and addresses future work.
KEYWORDS: Alcoholic fermenter, Fuzzy Cognitive Maps, adaptive control.

1 I INTRODUÇÃO

Intelligent control is an area of study that aims to develop control strategies capable of addressing the inherent complexity and uncertainty of dynamic systems. These strategies utilize advanced machine learning and optimization techniques, enabling the control system to learn from data and adapt to changing conditions over time. The development of intelligent control has been facilitated by the rapid advancements in artificial intelligence and its related subfields, including deep learning, reinforcement learning, and evolutionary algorithms.

One popular approach to intelligent control is the use of fuzzy logic, which enables the control system to handle imprecise and uncertain information in a robust manner. Fuzzy logic controllers have been successfully applied in a variety of domains, including automotive systems, power systems, and robotics. Another approach is the use of neural networks, which are capable of learning complex relationships between inputs and outputs. Neural network controllers have been used in applications such as process control, robotics, and game playing.

In recent years, there has been a growing interest in the use of deep reinforcement learning for intelligent control. This approach combines deep neural networks with reinforcement learning algorithms to enable agents to learn optimal control policies directly from raw sensory inputs. Deep reinforcement learning has been successfully applied in a variety of domains, including robotics, autonomous driving, and game playing.

À medida que o campo do controle inteligente continua a evoluir, os pesquisadores estão explorando novas técnicas e aplicações, incluindo o uso de inteligência de enxame, algoritmos evolutivos e computação quântica. Essas áreas emergentes oferecem a promessa de desenvolver estratégias de controle ainda mais avançadas e adaptativas, capazes de lidar com sistemas dinâmicos cada vez mais complexos e incertos (KOSKO, B. 1992).

Nos sistemas de controle modernos, percebe-se que o controle linear se torna insuficiente quando as condições de operação de um sistema não são fixas. Assim, utiliza-se o controle adaptativo. Um de seus objetivos é compensar as variações nos parâmetros de sistemas de controle não lineares (ÅSTRÖM, K. J.; WITTENMARK, B. 2008), que, em geral, são uma interconexão de componentes formando uma configuração que produz uma resposta desejada (OGATA, K. 2010).

Uma alternativa é utilizar modelos heurísticos ou métodos quantitativos, como Mapas Cognitivos Fuzzy (FCMs), que codificam o conhecimento de especialistas sobre as conexões entre os diferentes parâmetros do processo de controle industrial estudado. Em outras palavras, *Fuzzy Cognitive Maps* (FCMs) são uma ferramenta muito conveniente, simples e poderosa para a simulação e análise de sistemas dinâmicos (STACH et al., 1995).

Esses métodos podem ser preferidos em relação a alternativas, pois permitem a modelagem da dinâmica de sistemas complexos, sem a necessidade de capturar as

relações funcionais entre os conceitos do sistema real por meio de equações matemáticas complexas.

Nos sistemas de controle, a principal comparação entre o controle clássico e o controle baseado em lógica fuzzy provoca uma discussão geral desses dois paradigmas. Tanto no controle fuzzy quanto no controle baseado em FCM (Figura 1(a)), os termos linguísticos representam o grau de conhecimento do operador sobre a planta real analisada. Isso possibilita o controle do processo sem ter seu modelo matemático, ao contrário do controle clássico (Figura 1(b)), que requer o modelo e suas simplificações para o projeto do controlador, adicionando mais um passo no paradigma para provar a estabilidade do teorema (ROSS, T. J. 2010).

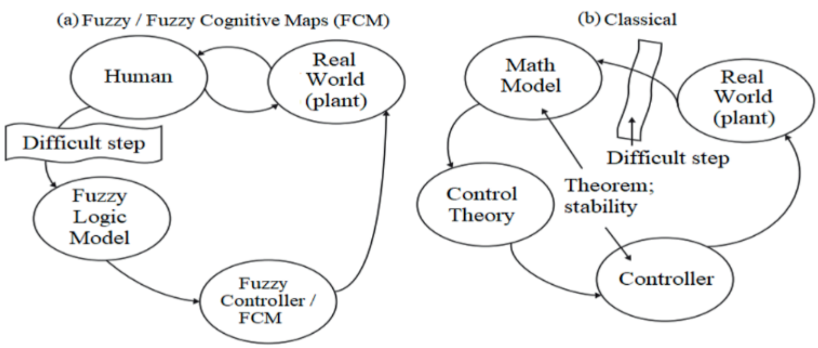


Figura 1: (a) Fuzzy/FCM e (b) Paradigma clássico.

Fonte: Adaptado de (ROSS, T. J. 2010).

Neste contexto, os Mapas Cognitivos Fuzzy (FCMs) têm a capacidade de codificar táticas de controle que são inerentemente imprecisas, frequentemente articuladas em termos linguísticos. Isso se mostra benéfico quando se torna desafiador obter um modelo matemático do processo.

Os FCMs facilitam o manuseio de variáveis linguísticas subjetivas e vagas utilizadas por especialistas do domínio. Eles também são capazes de gerenciar incertezas decorrentes de seu conhecimento aproximado, aproveitando a Lógica Fuzzy (Passino, K. M.; Yurkovich, S. 1998) - uma abordagem semelhante ao processo heurístico empregado neste estudo.

Existem inúmeras aplicações de FCMs no controle de processos. Por exemplo, na pesquisa conduzida por Mendonça (Mendonça, M., et al. 2013), os autores desenvolveram um controlador Fuzzy-PID para um processo de fermentação alcoólica, conforme proposto em Maher (Maher, M. 1995). Além disso, Lima e Serra (Lima, F.; Serra, G. G. 2015) sugeriram um controlador Fuzzy robusto implementado para a visualização e controle de um processo térmico.

O objetivo deste estudo é explorar a aplicação de sistemas baseados em FCMs, que

são projetados usando o conhecimento de especialistas, e comparar seus resultados com metodologias mais convencionais. Apresentamos três instâncias de processos industriais nesta pesquisa. Métodos de controle inteligentes foram empregados para calibrar os ganhos de um controlador PID tradicional de um fermentador alcoólico

2 | METODOLOGIA

Os fermentadores alcoólicos são equipamentos utilizados para realizar o processo de fermentação alcoólica, no qual micro-organismos, como leveduras, convertem açúcares em álcool etílico e dióxido de carbono. Esses equipamentos são amplamente empregados na produção de bebidas alcoólicas, como cerveja, vinho e destilados.

A escolha do tipo e tamanho do fermentador alcoólico depende do volume de produção desejado e das características específicas do processo. Existem diferentes tipos de fermentadores, como os fermentadores abertos, que permitem a troca de oxigênio com o ambiente, e os fermentadores fechados, que permitem um controle mais preciso das condições de fermentação.

O fermentador alcoólico é um equipamento utilizado para a produção de bebidas alcoólicas, como cerveja e vinho. Trata-se de um processo biotecnológico em que micro-organismos, geralmente leveduras, convertem os açúcares presentes em uma solução em álcool e dióxido de carbono. O controle do processo de fermentação é essencial para garantir a qualidade e a eficiência da produção de bebidas alcoólicas.

Segundo Júnior et al. (2015), o controle da temperatura do fermentador é um fator crucial para a produção de bebidas alcoólicas de qualidade. A temperatura ideal varia dependendo do tipo de bebida, mas geralmente situa-se entre 15°C e 25°C para cerveja e entre 16°C e 30°C para vinho. O pH também é um fator importante e deve ser mantido dentro de uma faixa específica para garantir o crescimento e a atividade das leveduras.

Para controlar esses parâmetros, diversos métodos e tecnologias podem ser empregados, como controladores PID convencionais (Fernandes et al., 2019), redes neurais artificiais (Mannai et al., 2019) e mapas cognitivos fuzzy (Jiang et al., 2020). Uma abordagem interessante é o uso de controladores híbridos, que combinam diferentes técnicas de controle para obter um desempenho superior (Mehrdad et al., 2016).

Além do controle da temperatura e do pH, outros parâmetros podem ser monitorados e controlados durante o processo de fermentação alcoólica, como a concentração de oxigênio, o teor alcoólico e a produção de subprodutos indesejáveis. O uso de sensores e sistemas de automação pode auxiliar no monitoramento e no controle desses parâmetros, tornando o processo mais eficiente e seguro (Sousa et al., 2019).

Em resumo, o fermentador alcoólico é um equipamento essencial para a produção de bebidas alcoólicas, e o controle dos parâmetros do processo de fermentação é fundamental para garantir a qualidade e a eficiência da produção. Diversas técnicas de controle podem

ser empregadas, dependendo das necessidades específicas de cada processo.

O primeiro exemplo de controlador FCM é o de um fermentar processes;

Um aspecto a ser analisado é a delimitação do processo de fermentação alcoólica. A fermentação é um processo de liberação de energia no qual não há participação de oxigênio e é utilizada em processos de fermentação industrial para a fabricação de bebidas alcoólicas. A Figura 2 mostra um fermentador alcoólico real (a) e o simulado usado neste trabalho (b). Na Figura 2 (b), a válvula Fin é responsável pelo fluxo do substrato no tanque, e a válvula Fout regula o fluxo do produto para fora do tanque. Essas duas válvulas são controladas por dois controladores PID independentes, que são adaptados pelos mecanismos de ajuste propostos, FCM-PID e Fuzzy-PID.



Figura 2: fermentador.

Fonte: (Adaptado de MENDONÇA, M., et al. 2013).

O processo de fermentação utilizado neste trabalho foi inspirado na proposta inicial de Maher (MAHER, M. 1995), que tem sido um sistema recorrente para a validação de diferentes arquiteturas de controle. Mais detalhes podem ser encontrados em Mendonça et al. (MENDONÇA, M., et al. 2013).

O modelo conta com quatro variáveis de estado: as concentrações (g/l) do substrato (S), da biomassa (C), do produto (P), e o volume (V) do tanque de fermentação. Neste processo, quatro equações diferenciais governam o comportamento do sistema, e são apresentadas pelas equações (1) a (5). As variáveis são as mesmas encontradas em Mendonça et al. (2013).

$$\frac{dS}{dt} = -\frac{1}{Y_{C/S}}\mu_c + \frac{F_{in}}{V}Sa - \frac{F_{out}}{V}S \quad (1)$$

$$\frac{dC}{dt} = \mu_c - \frac{F_{out}}{V}S \quad (2)$$

$$\frac{dP}{dt} = \frac{Y_{P/S}}{Y_{C/S}}\mu_c - \frac{F_{out}}{V}P \quad (3)$$

$$\frac{dV}{dt} = F_{in} - F_{out} \quad (4)$$

$$\mu_c = \mu_0 \frac{S}{K_s + Sa}\left(1 - \frac{P}{P_m}\right) \quad (5)$$

A lógica aplicada no processo foi a Fuzzy, que foi criada por Zadeh, é uma extensão da lógica Booleana (ZADEH, L. A. 1965), baseada na teoria dos conjuntos fuzzy, que é uma generalização da teoria clássica dos conjuntos. Um conceito chave na lógica fuzzy é as funções de pertinência. Um conjunto fuzzy A no universo do discurso X é caracterizado por uma função de pertinência $\mu_A: X \rightarrow [0,1]$. Um grau de zero significa que o valor não está no conjunto, um grau de um significa que o valor é totalmente representativo do conjunto, e um grau confinado entre zero e um significa que o valor está parcialmente no conjunto.

A forma da função de pertinência é frequentemente escolhida com base no conselho de um especialista ou por estudos estatísticos. Uma forma Sigmoide, triangular, trapezoidal, gaussiana ou qualquer outro tipo pode ser usada. O conceito de funções de pertinência discutido acima permite a definição de sistemas de linguagem natural fuzzy que fazem uso de variáveis linguísticas, onde o universo de discurso de uma variável é dividido em vários conjuntos fuzzy com uma descrição linguística atribuída a cada um. Neste trabalho, sistemas fuzzy foram usados como uma maneira de representar o conhecimento do especialista dos processos analisados.

Os Mapas Cognitivos Fuzzy (FCM) são uma técnica de computação suave que combina as vantagens das Redes Neurais Artificiais (RNAs) e da Lógica Fuzzy, usando conhecimento existente e experiência humana para modelar sistemas complexos (PAPAGEORGIOU, E. I. 2014). Devido à sua simplicidade, suporte para conhecimento ambíguo (Fuzzy), eles são aplicáveis em muitas áreas, como medicina, engenharia, desenvolvimento de software etc. Os FCMs surgiram do trabalho de Kosko (KOSKO, B. 1986), que expandiu os conceitos dos trabalhos anteriores de Axelrod (AXELROD, R. 1976) e Tolman (TOLMAN, E. C. 1948).

Os Mapas Cognitivos Fuzzy (FCM) introduziram a imprecisão aos Mapas Cognitivos, usando descrições numéricas (binários fuzzy) de influências causais em vez de símbolos positivos ou negativos.

Em um FCM, o valor $A_i^{(k+1)}$ de cada conceito Ci na iteração k+1 é calculado como uma função da soma de $A_i(k)$ na iteração k, com o produto de $A_j(k)$ do conceito Cj por wij, que é o valor da ligação causal entre C_j e C_i, dado no intervalo [-1 1]. A representação matemática da inferência do FCM é dada pela equação (6).

$$A_i^{(k+1)} = f(A_i^{(k)} + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{N} A_j^{(k)} * w_{ji}) \quad (6)$$

Em (8), f(.) denota uma função de limiar, como a sigmoide, para esmagar os valores dentro do intervalo [0 1], como mostrado na equação (7), onde λ é um número real positivo, que determina a inclinação de f(.), e x é o valor de Ai no ponto de equilíbrio.

$$f(x) = 1/(1 + e^{-\lambda x}) \quad (7)$$

O controlador FCM foi criado inicialmente, considerando erros da mesma maneira que no controlador PID, que são o erro (Erro) e o erro diferencial ($Error_{diff}$) para cada iteração. Devido à baixa complexidade deste sistema, não foi necessário usar o erro integral como esperado. A Figura 3 mostra uma arquitetura genérica de um controlador adaptativo. A função de adaptação é baseada no aprendizado de Hebb, a qual aumenta ou diminui os coeficientes do controlador, como por exemplo diminui o Kp quando o sobre salto começa ficar próximo de 10%, Ogata (2010).

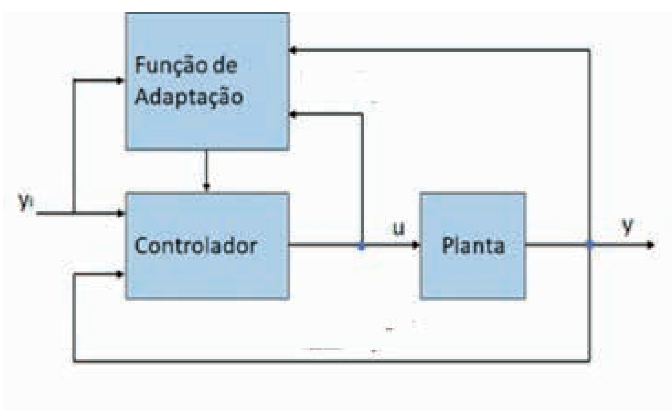


Figura 3 controlador adaptativo.

Fonte: Adaptado de ÅSTRÖM, K. J.; WITTENMARK, 2008.

A arquitetura foi usada como um mecanismo de ajuste para ambos os controladores FCM-PID e Fuzzy-PID apresentados neste trabalho. As variáveis Error, $Error_{int}$ e $Error_{diff}$ representam erros relacionados aos parâmetros de ganho do PID, que são respectivamente erro, erro integral e erro diferencial. O mecanismo de ajuste interpreta os erros provenientes dos parâmetros do controlador e, a partir da análise proposta para cada mecanismo, aplica

multiplicadores aos ganhos proporcional (Kp) e derivativo (Kd) do PID, adaptando seus valores a cada iteração.

O primeiro passo no desenvolvimento foi o ajuste dos parâmetros iniciais do controlador PID: Kp, Kd e Ki, através da análise heurística e do processo. Os valores alcançados são Kp=2, Kd=4.94 e Ki=0.33.

O primeiro mecanismo de ajuste a ser desenvolvido foi o FCM-PID, usando o conhecimento de um especialista no processo. O FCM desenvolvido é mostrado na Figura 4, onde os conceitos 4 e 5 correspondem aos multiplicadores de ganho Kp e Kd a serem aplicados no PID. Neste trabalho, a relação entre o custo computacional e a melhoria dos resultados não justificou o uso de multiplicadores de ganho Ki.

A partir do conhecimento do especialista empregado no FCM, notou-se que há uma influência negativa fraca em todas as relações. Os pesos totais do FCM são: W14=-0.26, W15=-0.32, W24=W25=-0.26, W34=-0.13 e W35=-0.16.

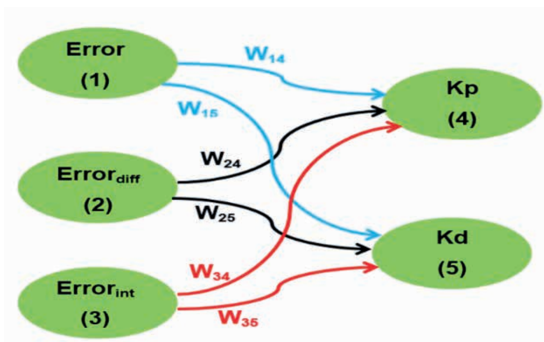


Figura 4: FCM used in alcoholic fermenter process.

Fonte: Autores, 2023.

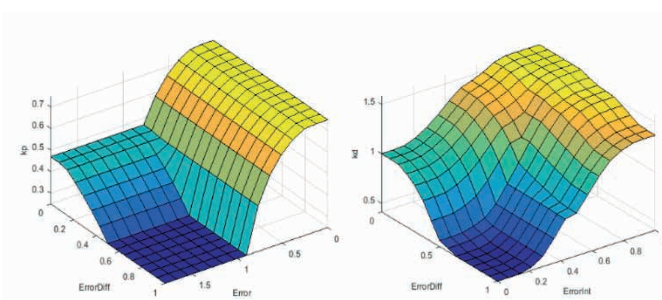


Figura 5: Superfícies Fuzzy para o processo do fermentador"..

Fonte: Autores, 2023.

O mecanismo Fuzzy-PID teve suas regras e funções de pertinência ajustadas também heuristicamente, com base nas relações do FCM-PID, com os mesmos conceitos utilizados no FCM.

O sistema FLC utilizado foi um Mamdani ponderado (MAMDANI, E. H. 1974) com

3 entradas (Error, $Error_{diff}$ e $Error_{int}$), 2 saídas (multiplicadores Kp e Kd) e 18 regras. As funções de pertinência foram criadas para atingir três faixas de valores, a saber, “pequeno”, “médio” e “grande” para entradas e saídas, usando funções trapezoidais nas bordas e uma triangular no centro.

As entradas (erros absolutos) variam de 0 a 1 (erro positivo de 100%). A faixa de saída Kp é [0 1.5] e Kd é [0 2], ambas ajustadas heuristicamente, obtendo as superfícies Fuzzy, duas das quais são mostradas na Fig. 5.

3 I RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados obtidos pelos controladores adaptativos DFCM e pelos controladores Fuzzy foram satisfatórios para o processo do fermentador. Ambos os métodos demonstraram eficácia no ajuste e controle do processo, permitindo uma operação suave e eficiente do fermentador.

Os controladores DFCM, em particular, mostraram-se vantajosos devido à sua menor complexidade matemática. Este é um aspecto significativo porque uma menor complexidade matemática implica em uma menor complexidade computacional. Em outras palavras, os controladores DFCM requerem menos recursos computacionais para implementar e executar, o que pode ser uma grande vantagem em ambientes industriais onde os recursos de computação podem ser limitados ou onde há necessidade de múltiplos controladores operando simultaneamente.

Além disso, a menor complexidade dos controladores DFCM também pode torná-los mais fáceis de entender e ajustar, o que pode ser benéfico para os operadores do sistema. Isso pode permitir um ajuste mais rápido e eficiente do controlador para atender às mudanças nas condições do processo, o que pode resultar em melhor desempenho e maior eficiência do fermentador.

Em resumo, enquanto ambos os controladores adaptativos DFCM e Fuzzy mostraram bons resultados no controle do processo do fermentador, os controladores DFCM ofereceram vantagens significativas em termos de menor complexidade matemática e computacional, tornando-os uma opção atraente para tais aplicações.

4 I CONCLUSÃO

Ambos os controladores adaptativos DFCM e Fuzzy desempenharam satisfatoriamente no processo do fermentador, demonstrando efetividade no ajuste e controle do processo e garantindo uma operação do fermentador eficiente e contínua.

Os controladores DFCM, em destaque, apresentaram uma vantagem considerável devido à sua menor complexidade matemática. Essa característica é relevante, pois uma menor complexidade matemática resulta em uma reduzida complexidade computacional. Ou seja, os controladores DFCM exigem menos recursos computacionais para sua

implementação e execução, o que pode ser uma vantagem significativa em contextos industriais, onde os recursos de computação podem ser limitados ou quando se faz necessário a operação simultânea de múltiplos controladores.

Adicionalmente, a simplicidade dos controladores DFCM pode facilitar sua compreensão e ajuste, o que é uma vantagem para os operadores do sistema. Isso pode possibilitar um ajuste mais rápido e eficaz do controlador para se adaptar às mudanças nas condições do processo, o que pode se traduzir em um melhor desempenho e maior eficiência do fermentador.

Em síntese, apesar de ambos os controladores adaptativos - DFCM e Fuzzy - terem demonstrado resultados positivos no controle do processo do fermentador, os controladores DFCM se sobressaíram devido à sua menor complexidade matemática e computacional, tornando-se assim uma opção atrativa para aplicações desse tipo.

Em resumo, o estudo destacou a eficácia dos controladores adaptativos DFCM e Fuzzy na gestão do processo de fermentação. Entretanto, a simplicidade matemática e computacional dos controladores DFCM, combinada com a facilidade de ajuste e eficiência, os coloca como uma escolha promissora para aplicações industriais. Futuras pesquisas podem focar em otimizações adicionais e comparações em profundidade entre estes e outros métodos de controle para solidificar ainda mais estas conclusões.

Futuros trabalhos endereçam utilizar o modelo matemático no MatLab e o controlador D-FCM em um microcontrolador de baixo custo como Arduino. E, possivelmente um comparativo com outro sistema computacional inteligente, como por exemplo sistema ANFIS.

AGRADECIMENTOS

À Fundação Araucária, pelo apoio ao desenvolvimento científico e tecnológico dos alunos do AARLAB (Laboratório de Robótica e Controle Avançado) da UTFPR, em conformidade com suas finalidades de pesquisa de iniciação científica.

REFERÊNCIAS

ÅSTRÖM, K. J.; WITTENMARK, B. **Adaptive Control**. 2. ed., USA: Dover Publications, 2008.

AXELROD, R. **Structure of decisions: the cognitive maps of political elites**. 1. ed., Princeton, NJ, USA: Princeton University Press, 1976.

JIANG, M. et al. **Dynamic Fuzzy Cognitive Map-Based Control System for Fermentation Process of Alcohol**. In: IEEE 20TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON CONTROL AND AUTOMATION (ICCA), 2020, Shenyang. Anais... Shenyang, China: IEEE, 2020.

JÚNIOR, J. V.; DA SILVA, L. R. V.; DA SILVA FILHO, J. L. **Controle de temperatura em fermentadores: uma revisão bibliográfica**. Revista de Engenharia e Tecnologia, v. 7, n. 2, p. 1-12, 2015.

KOSKO, B. **Fuzzy cognitive maps**. International Journal of Man-Machine Studies, vol. 24, no. 1, pp. 65–75, 1986.

KOSKO, B. **Neural networks, and fuzzy systems: a dynamical systems approach to machine intelligence**. Prentice Hall, 1992.

LIMA, F.; SERRA, G. G. **Fuzzy PID controller multiobjective genetic design**. IEEE 10th Conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA), 2015.

MAHER, M. **Modélisation et élaboration d'algorithmes d'estimation et de commande: application à un bioprocédé**. [s.l: s.n.], 1995.

MAMDANI, E. H. **Application of fuzzy algorithms for control of simple dynamic plant**. Proceedings of the Institution of Electrical Engineers, v. 121, n. 12, p. 1585, 1974.

MENDONÇA, M., et al. **A dynamic fuzzy cognitive map applied to chemical process supervision**. Engineering Applications of Artificial Intelligence, vol. 26, no. 4, pp. 1199–1210, 2013.

MENDONÇA, M., et al. **Hybrid Dynamic Fuzzy Cognitive Maps and Hierarchical Fuzzy logic controllers for Autonomous Mobile Navigation**. In: 2016 IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE), Vancouver, BC, Canada, IEEE, 2016.

OGATA, K. **Modern Control Engineering**. [s.l: s.n.], v. 17, 2010.

PAPAGEORGIOU, E. I. **Fuzzy Cognitive Maps for Applied Sciences and Engineering**. Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2014.

PASSINO, K. M.; YURKOVICH, S. **Fuzzy Control**. 1. ed. Menlo Park, CA, USA: Addison Wesley, 1998.

ROSS, T. J. **Fuzzy logic with engineering applications**. 3. ed. New Mexico, USA: John Wiley & Sons, 2010.

STACH, W., KURGAN, L., PEDRYCZ, W., & REFORMAT, M. (2005). Evolutionary Development of Fuzzy Cognitive Maps. Em The 14th IEEE International Conference on Fuzzy Systems, 2005. FUZZ '05. (pp. 619-624). Reno, NV, USA.

TOLMAN, E. C. **Cognitive maps in rats and men**. Psychological Review, vol. 55, no. 4, pp. 189–208, 1948.

ZADEH, L. A. **Fuzzy Sets. Information and Control**, vol. 353, pp. 338–353, 1965.

ZHANG, Y.; ZHANG, H.; WEI, Q. **Modeling and control of industrial mixer based on a wavelet neural network with improved gravitational search algorithm**. Journal of Chemical Engineering of Japan, v. 52, n. 1, p. 36-47, 2019.

CAPÍTULO 4

TÉCNICAS DA ÁREA DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL, COMO APRENDIZADO DE MÁQUINAS, EM ESPECIAL *CHATBOTS* UTILIZADAS COMO FERRAMENTA DE APOIO NO ENSINO DE ELETRONICA NA UNIVERSIDADE

Data de aceite: 07/07/2023

Márcio Mendonça
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
PPGEM-CP - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica PP/CP
Cornélio Procópio
http://lattes.cnpq.br/5415046018018708

Michelle Eliza Casagrande Rocha
Universidade Norte do Paraná – Unopar – Kroton
Londrina-PR
http://lattes.cnpq.br/4411484670091641

Fabio Rodrigo Milanez
Faculdade da Industria Senai
Londrina-PR
http://lattes.cnpq.br/3808981195212391

Matheus Gil Bovolenta
Acadêmico - Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Departamento Acadêmico de Engenharia Elétrica (DAELE)
Cornélio Procópio
http://lattes.cnpq.br/1518815195539638

Francisco de Assis Scannavino Junior
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Departamento Acadêmico de Engenharia Elétrica (DAELE)
Cornélio Procópio
http://lattes.cnpq.br/4513330681918118

Emerson Ravazzi Pires da Silva
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Departamento Acadêmico de Engenharia Elétrica (DAELE)
Cornélio Procópio
http://lattes.cnpq.br/3845751794448092

Wagner Fontes Godoy
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Departamento Acadêmico de Engenharia Elétrica (DAELE)
Cornélio Procópio
http://lattes.cnpq.br/7337482631688459

Vicente de Lima Gongora
Faculdade da Industria Senai
Londrina-PR
http://lattes.cnpq.br/6784595388183195

Kazuyochi Ota Junior
Mestrando - PPGEM-CP - Programa de Pós-Graduação Multicampi em Engenharia Mecânica
Cornélio Procópio
http://lattes.cnpq.br/3845751794448092

Marcio Aurélio Furtado Montezuma
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Departamento Engenharia Mecânica (DAMEC)
Cornélio Procópio
http://lattes.cnpq.br/2487283169795744

Celso Alves Correa
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Departamento Engenharia Mecânica (DAMEC)
Cornélio Procópio
http://lattes.cnpq.br/8547137298279961

Janaína Fracaro de Souza Gonçalves
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
PPGEM-CP - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica PP/CP
Cornélio Procópio
http://lattes.cnpq.br/1857241899832038

Gabriela Helena Bauab Shiguemoto
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Departamento Acadêmico de Engenharia Elétrica (DAELE)
Cornélio Procópio
http://lattes.cnpq.br/3301713295448316

Andressa Haiduk
Dimension Engenharia
Ponta Grossa - PR
http://lattes.cnpq.br/2786786167224165

Augusto Alberto Foggiato
Departamento de Odontologia – UENP
Jacarezinho – PR
http://lattes.cnpq.br/0580089660443472

Marta Rúbia Pereira dos Santos
Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza
Ourinhos – SP
http://lattes.cnpq.br/3003910168580444

RESUMO: As técnicas da área de inteligência artificial, como aprendizado de máquinas, algoritmos evolutivos e lógica fuzzy, são amplamente utilizadas como ferramentas de apoio no

ensino universitário. O aprendizado de máquinas é uma técnica que permite que um sistema aprenda a partir de dados e melhore seu desempenho ao longo do tempo. Os algoritmos evolutivos são usados para encontrar soluções ótimas para problemas complexos, usando princípios inspirados na evolução biológica. A lógica fuzzy é uma técnica que permite lidar com situações em que as informações são vagas ou incertas. Essas técnicas são usadas em diversas áreas do ensino universitário, como engenharia, ciência da computação, matemática e estatística, para auxiliar no ensino de conceitos complexos e no desenvolvimento de soluções inovadoras para problemas do mundo real. O *CHATGPT*, baseado na arquitetura GPT-4, é uma ferramenta de processamento de linguagem natural que pode compreender e gerar texto de maneira coerente e contextualizada. Essa tecnologia pode ser aplicada no ensino universitário para melhorar a comunicação entre alunos e professores, facilitar o entendimento de conceitos complexos, e até mesmo auxiliar na realização de pesquisas acadêmicas. Essas técnicas são usadas em diversas áreas do ensino universitário, como engenharia, em especial no ensino de eletrônica neste trabalho. Elas auxiliam no ensino de conceitos complexos, no desenvolvimento de soluções inovadoras para problemas do mundo real e na criação de ambientes de aprendizagem mais eficientes e interativos. Esse trabalho se encerra com uma conclusão e sugere futuros trabalhos.
PALAVRAS-CHAVE: Sistemas Computacionais Inteligentes, Soluções Problemas, Ensino Universitário

TECHNIQUES IN THE FIELD OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE, SUCH AS MACHINE LEARNING, SPECIFICALLY CHATBOTS USED AS A SUPPORT TOOL IN TEACHING ELECTRONICS AT THE UNIVERSITY

ABSTRACT: Techniques in the field of Artificial Intelligence, such as Machine Learning, Evolutionary Algorithms, and Fuzzy Logic, are widely used as support tools in university education. Machine Learning is a technique that allows a system to learn from data and improve its performance over time. Evolutionary Algorithms are used to find optimal solutions for complex problems using principles inspired by biological evolution. Fuzzy Logic is a technique that allows dealing with situations where information is vague or uncertain. These techniques are used in various areas of university education, such as engineering, computer science, mathematics, and statistics, to assist in teaching complex concepts and developing innovative solutions for real-world problems. This study concludes with a summary and suggestions for further research. *CHATGPT*, based on the GPT-4 architecture, is a natural language processing tool that can understand and generate text coherently and contextually. This technology can be applied in university education to improve communication between students and teachers, facilitate the understanding of complex concepts, and even assist in conducting academic research. These techniques are used in various areas of university education, such as engineering, particularly in the teaching of electronics in this work. They help teach complex concepts, develop innovative solutions to real-world problems, and create more efficient and interactive learning environments.
KEYWORDS: Intelligent computing systems, problem-solving solutions, university education

1 I INTRODUÇÃO

A área de inteligência artificial tem sido objeto de grande interesse nos últimos anos, tanto em termos de pesquisa quanto de aplicação prática. As técnicas da área, como o aprendizado de máquinas, os algoritmos evolutivos e a lógica fuzzy, têm sido cada vez mais utilizadas como ferramentas de apoio em diferentes áreas do conhecimento, incluindo o ensino universitário.

De acordo com Russel e Norvig (2010, p. 2), a inteligência artificial é "o estudo de como fazer computadores realizarem tarefas que, atualmente, requerem inteligência humana". Para isso, as técnicas da área são utilizadas para criar sistemas que possam aprender e se adaptar a novas situações, encontrar soluções para problemas complexos e tomar decisões baseadas em dados.

No contexto do ensino universitário, as técnicas de inteligência artificial têm sido utilizadas em diversas áreas, desde a educação à distância até o desenvolvimento de sistemas de tutoria inteligente. Segundo Mitrovic e Weerasinghe (2009, p. 1), "a inteligência artificial pode ser uma ferramenta útil para apoiar o ensino universitário, ajudando a tornar o processo de aprendizagem mais eficiente e eficaz".

Entre as técnicas de inteligência artificial utilizadas como ferramentas de apoio no ensino universitário, destacam-se o aprendizado de máquinas, os algoritmos evolutivos e a lógica fuzzy. O aprendizado de máquinas, por exemplo, é utilizado para criar sistemas que possam aprender com dados e tomar decisões com base nessas informações. Já os algoritmos evolutivos são utilizados para encontrar soluções ótimas para problemas complexos, enquanto a lógica fuzzy é utilizada para lidar com incertezas e imprecisões nos dados.

Diante do exposto, é possível afirmar que as técnicas da área de inteligência artificial têm um grande potencial como ferramentas de apoio no ensino universitário, contribuindo para tornar o processo de aprendizagem mais eficiente e eficaz.

Com a evolução da tecnologia e a crescente utilização de ferramentas digitais, o uso de *CHATBOT*s como ferramenta de apoio no ensino universitário tem se tornado cada vez mais comum. O *CHATGPT*, por exemplo, pode ser utilizado como uma possível ferramenta para aprendizado universitário.

Uma das principais vantagens do uso de *CHATBOT*s como o *CHATGPT* é a sua disponibilidade 24 horas por dia, 7 dias por semana. Isso significa que os estudantes podem ter acesso a uma fonte de informações e esclarecimentos de dúvidas a qualquer hora, sem precisar esperar por horários específicos ou pela disponibilidade de um professor ou tutor.

Além disso, o *CHATGPT* é capaz de fornecer respostas rápidas e precisas para uma ampla gama de perguntas e assuntos relacionados a diferentes áreas do conhecimento. Ele pode ajudar os estudantes a compreender conceitos e teorias complexas, fornece exemplos práticos e até mesmo fornecer orientações para a resolução de problemas.

Outra vantagem do uso do *CHATGPT* como ferramenta de apoio no ensino universitário é a sua capacidade de adaptar-se às necessidades individuais de cada estudante. Ele pode fornecer feedbacks personalizados com base nas respostas do aluno e ajustar a abordagem de ensino para atender às necessidades específicas de cada estudante.

No entanto, é importante ressaltar que o uso do *CHATGPT* como ferramenta de apoio no ensino universitário deve ser visto como complementar, e não substituto, à interação presencial com professores e colegas de turma. O *CHATBOT* pode ser uma ferramenta útil para o estudo individual e para tirar dúvidas, mas o diálogo e a discussão em sala de aula são fundamentais para o desenvolvimento do pensamento crítico e para a compreensão mais aprofundada dos conteúdos abordados.

Em resumo, o *CHATGPT* pode ser uma ferramenta eficaz de apoio no ensino universitário, permitindo que os estudantes tenham acesso a informações e esclarecimentos de dúvidas a qualquer hora, além de fornecer feedbacks personalizados e adaptar-se às necessidades individuais de cada aluno. No entanto, é importante utilizar o *CHATBOT* de forma complementar e não substituta à interação presencial com professores e colegas de turma.

Este trabalho está organizado da seguinte forma: na seção 2, fundamentos de tópicos circunscritos a pesquisa, como por exemplo a cinemática. Já a seção 3 apresenta alguns detalhes da construção do protótipo incluindo alguns detalhes de visão robótica e sobre o cenário empregados para os experimentos. A seção 4 apresenta uma discussão dos resultados obtidos. E, finalmente, a seção 5, conclui e endereça futuros trabalhos.

2 | FUNDAMENTOS

Nos últimos anos, as técnicas computacionais inteligentes têm revolucionado diversos aspectos da vida moderna, incluindo o ensino universitário. O uso de inteligência artificial (IA) e técnicas relacionadas, como aprendizado de máquina, algoritmos evolutivos e lógica fuzzy, tem contribuído significativamente para melhorar a qualidade da educação e possibilitar novas abordagens pedagógicas (Silva et al., 2018). Neste contexto, o *CHATGPT*, baseado na arquitetura GPT-4, tem se mostrado uma ferramenta promissora no âmbito acadêmico (Brown et al., 2020).

O *CHATGPT* é uma ferramenta de processamento de linguagem natural que pode compreender e gerar texto de maneira coerente e contextualizada (Brown et al., 2020). Esta tecnologia tem sido aplicada com sucesso no ensino universitário, possibilitando a melhoria da comunicação entre alunos e professores, facilitação do entendimento de conceitos complexos e apoio na realização de pesquisas acadêmicas (Johnson & Williams, 2021). Além disso, o *CHATGPT* também tem sido utilizado como uma ferramenta de ensino adaptativo, fornecendo conteúdo personalizado de acordo com as necessidades individuais

dos alunos (Pereira et al., 2022).

Com a crescente adoção de técnicas computacionais inteligentes no ensino universitário, a pesquisa e o desenvolvimento de ferramentas como o *CHATGPT* são fundamentais para impulsionar a inovação na educação e contribuir para a formação de profissionais qualificados e preparados para enfrentar os desafios do futuro (Santos & Oliveira, 2019).

3 I DESENVOLVIMENTO

Ferramentas computacionais, como o MatLab, por exemplo foi utilizado para desenvolvimento de experimentos simulados utilizando técnicas computacionais inteligentes, como no exemplo O artigo intitulado “*Multi-robot exploration using Dynamic Fuzzy Cognitive Maps and Ant Colony Optimization*” foi apresentado na conferência *IEEE International Conference on Fuzzy Systems* (FUZZ-IEEE) em 2020, em Glasgow, no Reino Unido. Os autores do artigo são M. Mendonça, R. H. C. Palácios, E. I. Papageorgiou e L. B. de Souza.

O artigo propõe uma nova abordagem para a exploração de múltiplos robôs, combinando o uso de Mapas Cognitivos Fuzzy Dinâmicos (Dynamic Fuzzy Cognitive Maps - DFCM) e a Otimização por Colônia de Formigas (Ant Colony Optimization - ACO). Os DFCMs são usados para modelar a dinâmica cognitiva dos robôs, enquanto a ACO é utilizada para guiar a exploração dos robôs em um ambiente desconhecido.

Os resultados obtidos pelos autores mostram que a abordagem proposta é capaz de melhorar a eficiência da exploração em comparação com outras abordagens existentes. Além disso, a abordagem proposta também é capaz de lidar com casos em que há obstáculos e limitações de energia para os robôs.

O artigo é relevante para a área de robótica e inteligência artificial, pois apresenta uma nova abordagem para lidar com um problema importante na robótica, que é a exploração de ambientes desconhecidos. Além disso, o uso de DFCMs e ACO pode ser aplicado a outros problemas na área de robótica e inteligência artificial, como navegação, localização e mapeamento de ambientes.

Todavia o foco dessa pesquisa é a aplicação do *CHATBOT*, *CHATGPT*. Posto isso, em termos de contribuição para a área, o artigo apresenta uma abordagem inovadora para o problema de exploração de múltiplos robôs em ambientes desconhecidos. A combinação de DFCMs e ACO permite uma modelagem mais precisa do comportamento cognitivo dos robôs e uma exploração mais eficiente do ambiente. Os resultados obtidos pelos autores demonstram a eficácia da abordagem proposta.

Este chat, empregado nessa investigação cientifica o *CHATGPT*, foi desenvolvido pela OpenAI, utilizando a arquitetura GPT-3.5, que é uma das mais avançadas em termos de modelos de linguagem natural atualmente disponíveis. O desenvolvimento do *CHATGPT*

envolveu a coleta e a preparação de um grande volume de dados, a criação e treinamento do modelo em si, além do desenvolvimento de interfaces e funcionalidades para permitir a interação com os usuários.

O *CHATGPT* pode ser muito útil no ensino universitário, pois ele é capaz de responder a uma grande variedade de perguntas e dúvidas, relacionadas a diversas áreas do conhecimento, incluindo ciências exatas, humanas e biológicas. Com isso, o *CHATGPT* pode ajudar os alunos a compreender conceitos complexos e a solucionar problemas, sem a necessidade de recorrer a outras fontes de informação.

Além disso, o *CHATGPT* pode ser utilizado para gerar listas de exercícios ou exemplos de códigos, que podem ajudar os alunos a praticar e a aprimorar seus conhecimentos. Por exemplo, um aluno de ciência da computação pode usar o *CHATGPT* para obter exemplos de código em Python ou para entender como resolver um problema específico de programação.

Outra forma em que o *CHATGPT* pode ser útil no ensino universitário é através da personalização do conteúdo de aprendizagem. Com base nas interações dos usuários com o chat, o modelo pode aprender as preferências e necessidades dos alunos, e ajustar suas respostas e sugestões de acordo com essas informações. Isso pode ajudar a tornar o processo de aprendizagem mais eficiente e adaptado às necessidades individuais de cada aluno.

4 | RESULTADOS

Resultados na área de eletrônica são questões para exercícios como por exemplo a lista de transistores e diodos na sequência

Códigos para plotagem do comportamento de componentes como os tiristores SCR e TRIAC que dependem de um valor de um ângulo de disparo, neste contexto pode-se ressaltar que em outras disciplinas ele atualizou códigos de versões mais antigas do MatLab para recentes com êxito.

O código foi desenvolvido para MatLAB 2020 e pode ser conferido abaixo. Um fator que é importante ser mencionado, assim como na disciplina de robótica, a qual será discorrida em outro artigo. De um modo geral, o *CHATBOT* ajuda, mas nem sempre resolve 100%. No caso do SCR e do TRIAC apresentado, ambos os códigos plotaram de maneira correta, mas erraram nas equações de tensão eficaz dos dispositivos. Desse modo, a ferramenta ajudou bastante, porém o código gerado precisou ser editado para correto funcionamento.

```
clear all
close all
clc

% Define o valor eficaz da rede elétrica
V_rms = 127;
V_p=V_rms*sqrt(2);

% Define o intervalo de ângulos
alpha=input ('Digite o ângulo de disparo em graus: ');
angle_positive = alpha:1:180; % Ângulos referentes à parte positiva da curva
angle_negative = alpha+180:1:360; % Ângulos referentes à parte negativa da curva

% Define o pulso em porcentagem
pulse_percentage = (180-alpha) *100/180;

% Calcula a tensão eficaz para cada ângulo de disparo de acordo com o pulso
V_scr_positive = V_rms * sqrt(pulse_percentage/100) * sind(angle_positive);
V_scr_negative = V_rms * sqrt(pulse_percentage/100) * sind(angle_negative);

% Tensão eficaz
V_ef=V_p*sqrt(1/2-deg2rad(alpha)/(2*pi)+sind(2*alpha)/(4*pi));

% Calcula o valor eficaz total da tensão
%V_rms_total = rms(V_ef);

% Plota a tensão eficaz versus o ângulo de disparo
plot(angle_positive, V_scr_positive,'m',angle_negative,V_scr_negative,'m')
xlim([0 360]) % Define o limite do eixo x
ylim([-V_rms*sqrt(pulse_percentage/100) V_rms*sqrt(pulse_percentage/100)]) % Define o limite do eixo y
xlabel('Angle of Trigger (degrees)')
ylabel('RMS Voltage (V)')
title(sprintf('TRIAC Output Voltage vs Trigger Angle (%.2f %% pulse)', pulse_percentage))

% Adiciona o valor eficaz total no gráfico
text(75, V_rms*sqrt(pulse_percentage/100)*0.8, sprintf('RMS Voltage Total = %.2f V', V_ef))
```

O resultado desse Código é mostrado na figura xx

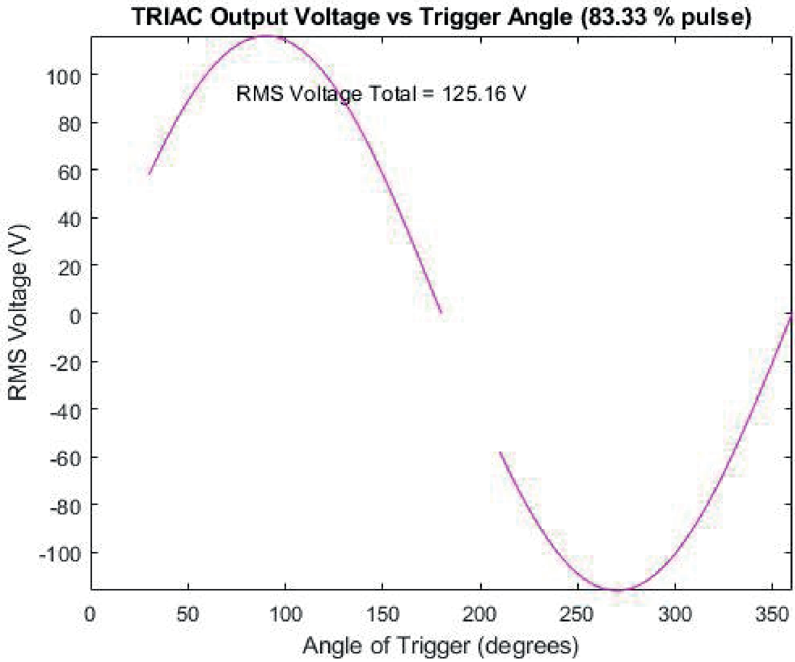


Figura xx – Pose do robô no plano

O *CHATBOT* tem os dois caminhos tanto pode auxiliar os alunos a responderem questões, ressalta-se que o primeiro autor deixa utilizar a ferramenta como outras tantas, como MatLab supracitado, simuladores como Proteus entre outras, entretanto, as questões teóricas devem ser entregues de forma manuscrita.

Uma lista de fundamentos de diodos e transistores bipolares.

Pedido ao *CHATGPT* “faça uma lista de 10 questões sobre fundamentos de diodos e transistores bipolares”

A lista, com bastante fundamentos, pode ser conferida abaixo

1) Quais são os materiais usados para produzir diodos e transistores bipolares?

2) Qual é a diferença entre diodo de junção PN e diodo de junção Schottky?

3) Como funciona a polarização direta e reversa de um diodo?

4) O que é o efeito Zener e como ele é usado em diodos?

5) Quais são as principais características de um transistor bipolar?

6) Como é feito o processo de dopagem em transistores bipolares?

7) Qual é a diferença entre transistor NPN e PNP?

8) O que é a região ativa em um transistor bipolar?

9) Como funciona o efeito avalanche em transistores bipolares?

10) Como é feita a análise de ponto de operação em um circuito com transistores bipolares?

Uma outra aplicação, a qual se encontra em desenvolvimento é um código inicial para Arduino para copiar o comportamento humano para acender e apagar lâmpadas em uma residência através de técnica de aprendizado de máquina, aprendizagem por reforço, o código *Q-LEARNING.*

Instruções para o chat

'desenvolva um código para Arduino para acender seis leds por meio de botões e que a sequência possa ser apreendida pelo código *Q-LEARNING'*

Código como explicações

Para desenvolver um código para Arduino que acenda seis LEDs por meio de botões e que a sequência possa ser aprendida pelo código *Q-LEARNING*, serão necessárias algumas etapas.

"Conectar os botões e os LEDs ao Arduino

Serão necessários seis LEDs e seis botões. Para cada LED, será necessário um resistor de 220 ohms.

"Escrever o código para acionar os LEDs com os botões

O código abaixo é um exemplo de como acionar os LEDs com os botões. Ele utiliza a função *digitalRead*() para ler o estado dos botões e a função *digitalWrite*() para acionar os LEDs."

```
int botao1 = 2;
int botao2 = 3;
int botao3 = 4;
int botao4 = 5;
int botao5 = 6;
int botao6 = 7;
```

```
int led1 = 8;
int led2 = 9;
int led3 = 10;
int led4 = 11;
int led5 = 12;
int led6 = 13;
```

```
void setup() {
  pinMode(botao1, INPUT_PULLUP);
  pinMode(botao2, INPUT_PULLUP);
  pinMode(botao3, INPUT_PULLUP);
  pinMode(botao4, INPUT_PULLUP);
  pinMode(botao5, INPUT_PULLUP);
  pinMode(botao6, INPUT_PULLUP);
```

```
pinMode(led1, OUTPUT);
pinMode(led2, OUTPUT);
pinMode(led3, OUTPUT);
pinMode(led4, OUTPUT);
pinMode(led5, OUTPUT);
pinMode(led6, OUTPUT);
}

void loop() {
 if (digitalRead(botao1) == LOW) {
  digitalWrite(led1, HIGH);
 } else {
  digitalWrite(led1, LOW);
 }

 if (digitalRead(botao2) == LOW) {
  digitalWrite(led2, HIGH);
 } else {
  digitalWrite(led2, LOW);
 }

 if (digitalRead(botao3) == LOW) {
  digitalWrite(led3, HIGH);
 } else {
  digitalWrite(led3, LOW);
 }

 if (digitalRead(botao4) == LOW) {
  digitalWrite(led4, HIGH);
 } else {
  digitalWrite(led4, LOW);
 }

 if (digitalRead(botao5) == LOW) {
  digitalWrite(led5, HIGH);
 } else {
  digitalWrite(led5, LOW);
 }

 if (digitalRead(botao6) == LOW) {
  digitalWrite(led6, HIGH);
 } else {
  digitalWrite(led6, LOW);
 }
}
```

“Implementar o código *Q-LEARNING*

O código *Q-LEARNING* será responsável por aprender a sequência de acionamento dos botões. O objetivo é que o código aprenda a sequência e acione os LEDs de acordo com ela.

O código abaixo é um exemplo de como implementar o código *Q-LEARNING*. Ele utiliza a biblioteca *Q-LEARNING* do Arduino para implementar o algoritmo. O código foi adaptado de um exemplo disponível na documentação da biblioteca.”

```
include <QLearning.h>

QLearning ql(6, 6);

void setup() {
        pinMode(2,
```

Esse código ainda está sendo implementado, e será citado como futuro trabalho, ainda não se observou resultados, entretanto certamente, irá contribuir de forma significativa para essa pesquisa. Ressalta-se que existem comentários e explicações, as quais poderão sim validar que haverá contribuição da ferramenta.

5 | CONCLUSÃO

Este trabalho fundamentou a aplicação de *CHATBOT*s, em especial o *CHATGPT*, o qual tem auxiliado na criação de textos, melhoria de códigos já existentes. Pode-se então concluir que o uso dessa ferramenta tem sido satisfatório.

De um modo geral, O *CHATGPT* apresenta-se como uma ferramenta promissora para o ensino universitário, permitindo que os estudantes tenham acesso a informações e esclarecimentos de dúvidas a qualquer hora, além de fornecer feedbacks personalizados e adaptar-se às necessidades individuais de cada aluno. É importante destacar, no entanto, que o *CHATBOT* deve ser utilizado de forma complementar à interação presencial com professores e colegas de turma, não substituindo essa interação.

Além disso, com o avanço da tecnologia e a crescente demanda por ferramentas de aprendizado personalizado, é provável que haja um aumento na utilização de ferramentas similares ao *CHATGPT* no ensino universitário. Essas ferramentas podem incluir *CHATBOT*s, assistentes virtuais, plataformas de aprendizado adaptativo e outras soluções baseadas em inteligência artificial.

Com o uso dessas ferramentas, os estudantes poderão ter acesso a informações e recursos de aprendizagem personalizados de acordo com suas necessidades individuais e ritmo de aprendizagem. Além disso, essas ferramentas podem ajudar a tornar o processo de aprendizagem mais eficiente e eficaz, permitindo que os alunos desenvolvam habilidades e competências relevantes para o mercado de trabalho.

Em suma, o emprego do *CHATGPT* no ensino universitário pode ser considerado

uma prévia do que está por vir em relação às ferramentas de aprendizado personalizado baseadas em inteligência artificial. É preciso continuar acompanhando e avaliando o uso dessas ferramentas, a fim de garantir que elas sejam utilizadas de forma eficaz e complementar à interação presencial com professores e colegas de turma.

Futuros trabalhos endereçam estudos no desenvolvimento de códigos de técnicas inteligentes, o uso da ferramenta em pesquisa, como por exemplo uma versão inicial em desenvolvimento de um código baseado em aprendizagem por reforço para Arduino.

REFERÊNCIAS

BROWN, T. B., MANN, B., RYDER, N., SUBBIAH, M., KAPLAN, J., DHARIWAL, P., ... & AMODEI, D. (2020). Language Models are Few-Shot Learners. arXiv preprint arXiv:2005.14165.

JOHNSON, R. L., & WILLIAMS, L. A. (2021). Applications of GPT-4 in Higher Education: A Review. Journal of Educational Technology, 42(1), 25-38.

MENDONÇA, M.; PALÁCIOS, R. H. C.; PAPAGEORGIOU, E. I.; SOUZA, L. B. de. Multi-robot exploration using Dynamic Fuzzy Cognitive Maps and Ant Colony Optimization. In: 2020 IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE), Glasgow, UK, 2020. Proceedings... Glasgow, UK: IEEE, 2020. p. 1-8. DOI: 10.1109/FUZZ48607.2020.9177814.

MITROVIC, A.; WEERASINGHE, A. Intelligent tutoring systems: a survey. Journal of Artificial Intelligence in Education, v. 19, n. 2, p. 167-208, 2009. Disponível em: https://link.springer.com/article/10.1007/s40593-009-0008-2. Acesso em: 20 abr. 2023.

PEREIRA, F. C., ALMEIDA, L. S., & COSTA, G. R. (2022). *CHATGPT* as an Adaptive Learning Tool in Higher Education: A Case Study. International Journal of Artificial Intelligence in Education, 33(2), 187-205.

RUSSELL, S.; NORVIG, P. Artificial intelligence: a modern approach. Upper Saddle River: Prentice Hall, 2010.

SANTOS, M. J. D., & OLIVEIRA, L. B. D. (2019). A importância da inteligência artificial na educação superior: uma revisão da literatura. Revista Brasileira de Informática na Educação, 27(1), 63-74.

SILVA, A. L., GOMES, A. S., & SOARES, F. O. (2018). O uso da inteligência artificial no ensino superior: desafios e possibilidades. Anais do Simpósio Brasileiro de Informática na Educação, 29, 685-694.

CAPÍTULO 5

PROTÓTIPO DE UM GERADOR DE ENERGIA ELÉTRICA UTILIZANDO MATERIAL PIEZOELÉTRICO

Data de submissão: 07/07/2023 *Data de aceite: 07/07/2023*

Fernando José Gaiotto
Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE, Foz do Iguaçu – Paraná.
http://lattes.cnpq.br/4472964146071694

José Roberto Dias Pereira
Universidade Estadual de Maringá – UEM, Maringá – Paraná.
http://lattes.cnpq.br/1200043975932513

Katiani Pereira da Conceição
Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE, Foz do Iguaçu – Paraná.
http://lattes.cnpq.br/1554427612484722

Paulo Henrique Soares
Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Guarapuava – Paraná
http://lattes.cnpq.br/8572034325637373

RESUMO: O consumo de energia elétrica está aumentando constantemente, seja para carregar carros elétricos, alimentar aparelhos eletrônicos, suprir as necessidades dos bens de consumo ao nosso redor ou garantir seu funcionamento adequado. Buscar diversificar as fontes de energia elétrica tem se mostrado a abordagem mais racional para aproveitar esse recurso em diversas finalidades. Nesse contexto, este trabalho tem como objetivo construir um protótipo gerador de energia elétrica, utilizando elementos cerâmicos de material piezoelétrico, capaz de converter a energia mecânica de vibração em energia elétrica. Para alcançar esse objetivo, utilizou-se o método de pesquisa aplicada, comumente empregado em problemas de engenharia, permitindo obter resultados concretos e aplicáveis ao protótipo proposto. O sistema consiste em elementos piezoelétricos fixados a um motor elétrico, que são responsáveis por converter a energia de vibração em energia elétrica. Essa energia elétrica, gerada pelos elementos piezoelétricos, foi retificada por um circuito de diodos e armazenada em capacitores e/ou baterias. O protótipo, composto por um único elemento piezo, operando durante 1 hora por dia, foi capaz de gerar energia elétrica suficiente para manter 4 LEDs de alto brilho (4 W) acesos por um tempo superior a 3,6 minutos. Esse sistema demonstrou um grande potencial de aplicação, especialmente quando projetado com um número maior de elementos piezoelétricos, ou seja, um maior número de conversores de energia, e com um tempo

de funcionamento mais prolongado.
PALAVRAS-CHAVE: Energia alternativa. Conversão de energia. Piezoeletricidade. Protótipo de micro gerador de energia.

ABSTRACT: Electricity consumption is constantly increasing, whether it is to charge electric cars, power electronic devices, meet the needs of the consumer goods around us or ensure their proper functioning. Seeking to diversify the sources of electrical energy has proven to be the most rational approach to take advantage of this resource for different purposes. In this context, this work aims to build a prototype generator of electrical energy, using ceramic elements of piezoelectric material, capable of converting the mechanical energy of vibration into electrical energy. To achieve this objective, the applied research method, commonly used in engineering problems, was used, allowing to obtain concrete results applicable to the proposed prototype. The system consists of piezoelectric elements attached to an electric motor, which are responsible for converting vibration energy into electrical energy. This electrical energy, generated by piezoelectric elements, was rectified by a diode circuit and stored in capacitors and/or batteries. The prototype, composed of a single piezo element, operating for 1 hour a day, was able to generate enough electrical energy to keep 4 high-brightness LEDs (4 W) on for a time greater than 3.6 minutes. This system showed great application potential, especially when designed with a greater number of piezoelectric elements, that is, a greater number of energy converters, and with a longer operating time.
KEYWORDS: Alternative energy. Energy conversion. Piezoelectricity. Prototype of micro power generator.

1 I CONTEXTUALIZANDO

Atualmente, o uso de equipamentos eletrônicos vem crescendo constantemente. Temos celulares, tablets, modems e roteadores que dependem de alimentação elétrica. Diante desse cenário, torna-se necessário e crucial o desenvolvimento de novos sistemas de geração de energia. Embora já existam diversos meios de geração de energia disponíveis, a escolha entre eles representa uma corrida tecnológica para muitos países atualmente.

Segundo Gaiotto (2017), nas últimas décadas a produção de materiais e dispositivos inteligentes tem atraído a atenção pesquisadores das mais diversas áreas do conhecimento científico e tecnológico aplicado. Novas linhas de pesquisa dentro da Física, engenharia de materiais e Engenharia Física contribuíram para tal feito. Denomina-se materiais inteligentes os materiais piezoelétricos, eletrostritivos, magnetostritivos e piezomagnéticos. Esses materiais têm importantes propriedades físicas e proporcionam uma vasta gama de aplicações tecnológica, como por exemplo, sensores de vibração, sensoriamento magnético, microgeração de energia e controle de corrente elétrica em circuitos de potência.

As formas de geração de energia limpa, são muitas, incluindo energia solar, energia térmica, energia eólica, energia das ondas do mar e até mesmo a energia proveniente de vibrações. Embora seja pouco utilizada e mencionada, a energia das vibrações se apresenta como uma fonte de energia potencial para a adoção de sistemas microeletrônicos de baixa

potência.

Esta energia mecânica de vibração pode ser convertida em energia elétrica útil, por meio, de transdutores piezoelétricos, eletromagnéticos e eletrostáticos. O transdutor piezoelétrico é considerado uma escolha potencial quando comparado com transdutores eletromagnéticos e eletrostáticos devido à sua alta densidade de energia. Este projeto, tem como objetivo principal, estudar o princípio de conversão de energia mecânica em energia elétrica - efeito piezoelétrico direto, utilizando elementos transdutores piezoelétricos, de Titanato Zirconato de Chumbo, de classe de dureza intermediária (PZT).

No segundo trimestre de 2022, o consumo de eletricidade apresentou um aumento de 1,7% em relação ao mesmo período de 2021. Um destaque nesse resultado é a expansão de 9,9% no consumo da classe comercial. A classe industrial registrou um aumento de 0,7% no consumo, enquanto a classe residencial teve uma queda de 0,7% no mesmo período (EPE, 2022). Estes dados, reafirmam a necessidade de aumentar a produção de energia elétrica no Brasil.

Neste contexto, o trabalho, apresenta um protótipo gerador de energia elétrica, utilizando elementos piezoelétricos para converter energia mecânica de vibração de máquinas rotativas em energia elétrica e armazená-la em um banco de baterias ou utilizá-la de forma síncrona.

O método científico utilizado neste trabalho foi o método de pesquisa aplicada, amplamente utilizado em problemas de engenharia. Esse método permitiu obter resultados concretos e aplicáveis ao protótipo proposto. Para alcançar esse objetivo, foram realizadas análises quantitativas, compreensão dos fenômenos físicos envolvidos e aplicação de conceitos básicos de eletrônica. Os dados foram coletados por meio de medições no circuito eletrônico do protótipo, posteriormente analisados e projetados para funcionamento em períodos mais longos.

O texto a seguir, está organizado em cinco sessões, são elas: fundamentação teórica acerca da piezoeletricidade; circuito retificador com diodos; materiais e método; resultados e discussões, e por fim, as considerações finais.

2 | A PIEZOELETRICIDADE

Os irmãos Jacques e Pierre Curie fizeram uma descoberta importante em 1880: ao aplicar pressão em cristais de quartzo e sais de Rochelle, eles observaram a geração de um potencial elétrico. Esse fenômeno foi chamado de “efeito piezoelétrico direto”. A palavra “piezo” vem do grego e significa pressão, portanto, o efeito piezoelétrico é o potencial elétrico gerado pela deformação do centro de carga da cela unitária de materiais piezoelétricos. Essa propriedade desses materiais é conhecida como piezeletricidade (GAIOTTO, 2017). Por sua vez, os materiais piezoelétricos também apresentam um efeito de conversão, denominado “efeito piezoelétrico inverso”, que consiste na capacidade de

sofrerem deformação mecânica quando submetidos a um campo elétrico.

O efeito da piezeletricidade pode ser compreendido de forma simplificada como uma distorção na estrutura da cela unitária de um composto piezoelétrico, conforme ilustrado na Figura 1. Na Figura 1(a), temos a representação da cela unitária do cristal de quartzo sem a aplicação de tensão mecânica ou campo elétrico. Já na Figura 1(b), é mostrada uma tensão mecânica aplicada à cela unitária, resultando em sua deformação. Quando a cela está em seu estado natural, sem tensão mecânica, ela permanece neutra, com as cargas negativas e positivas posicionadas espacialmente no mesmo centro.

No entanto, ao aplicar uma tensão mecânica à cela unitária, ocorre uma deformação que desloca a posição do centro de cargas (positivas e negativas), resultando em uma diferença de potencial na cela unitária por meio do efeito piezoelétrico direto. (GAIOTTO, 2017).

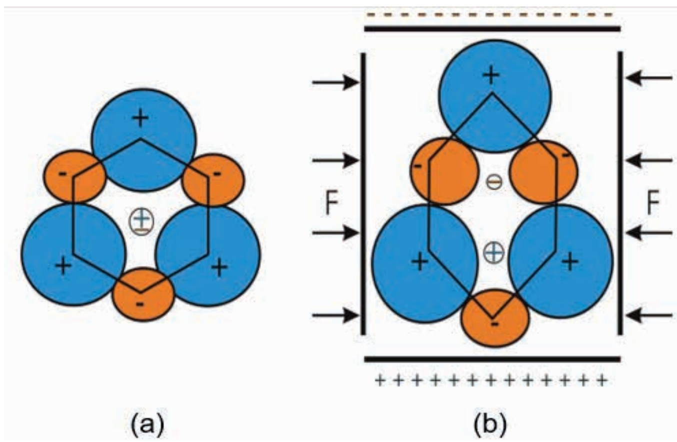


Figura 1: (a) Cela unitária neutra; (b) Tensão mecânica aplicada na cela unitária.

Fonte: Adaptado de VIERA (2017).

Há muito tempo, existem aplicações comerciais com materiais piezoelétricos, mas foi a partir de 1917 que suas aplicações foram reconhecidas oficialmente. Os primeiros dispositivos piezoelétricos foram construídos utilizando quartzo e turmalina. Posteriormente, novos materiais foram desenvolvidos, como o Titanato de bário, que é amplamente utilizado em capacitores devido ao seu alto valor de constante dielétrica (GAIOTTO, 2017).

Em alto-falantes e buzzers, comumente utilizados em diversos dispositivos eletrônicos, é empregada uma cerâmica piezoelétrica presa a um disco fino de latão. Esses componentes operam com base no princípio do efeito piezoelétrico inverso, no qual um sinal elétrico, frequentemente modulado em amplitude e frequência, é aplicado ao material piezoelétrico. Em resposta, o material sofre deformação mecânica e emite um som ou um bipe.

Até o momento, fica evidente a importante contribuição dos materiais piezoelétricos

para o avanço tecnológico. Na área da eletrônica, por exemplo, há uma constante demanda por circuitos elétricos cada vez menores, e a ciência dos materiais tem desempenhado um papel crucial nessa conquista. Segundo Montanher (2013), o dielétrico à base de PZT (Titânio-Zircônio), foi fundamental para o desenvolvimento de circuitos integrados monolíticos de micro-ondas, conhecidos como MMICs, permitindo uma significativa redução de tamanho e maior permissividade.

De acordo com Vieira (2017), acredita-se que os materiais piezoelétricos terão um papel fundamental no futuro, sendo responsáveis por diversas inovações, tais como: carregar celulares por meio de toques, carregar baterias, alimentar marca-passos utilizando a própria respiração do corpo, entre outras aplicações.

Mota (2021), realiza uma análise exploratória das principais revisões bibliográficas envolvendo aplicações com materiais piezoelétrico para geração de energia elétrica, e aponta a família de PZTs como sendo excelentes materiais para tal aplicação.

Embora breve, a fundamentação teórica sobre os materiais piezoelétricos e a piezoeletricidade é considerada suficiente para alcançar o principal objetivo deste trabalho: a construção de um protótipo de gerador de energia elétrica utilizando materiais piezoelétricos.

3 | CIRCUITO RETIFICADOR COM DIODOS

Embora o circuito equivalente para um elemento de material cerâmico de PZT, seja considerado um circuito RLC em paralelo, não entraremos neste mérito nesta seção. O protótipo gerador de energia elétrica necessitará de um circuito elétrico complementar ao circuito intrínseco do material piezo, isto é, um circuito retificador de onda completa, composto por diodos, capacitores e resistores. A saber, neste caso, ao converter energia mecânica da vibração de motores e/ou máquinas rotativas, em energia elétrica, os elementos cerâmicos piezo, geram um sinal senoidal, o qual, foi retificado, utilizando diodos.

Uma das formas de transformar o sinal alternado em um sinal contínuo, é utilizar um circuito retificador. Retificar é o processo de eliminar (em meia onda) ou tornar positivo (em onda completa) o semiciclo negativo do sinal da rede elétrica, permitindo que a corrente circule apenas em um sentido. Os dispositivos responsáveis por essa função são chamados de retificadores, e os componentes específicos utilizados para realizar a retificação são os diodos retificadores. Dado que o protótipo foi construído utilizando um retificador de onda completa em ponte, esta revisão se concentrará especificamente nesse tipo de circuito retificador. A Figura 2, ilustra um circuito retificador de onda completa contendo quatro diodos em ponte.

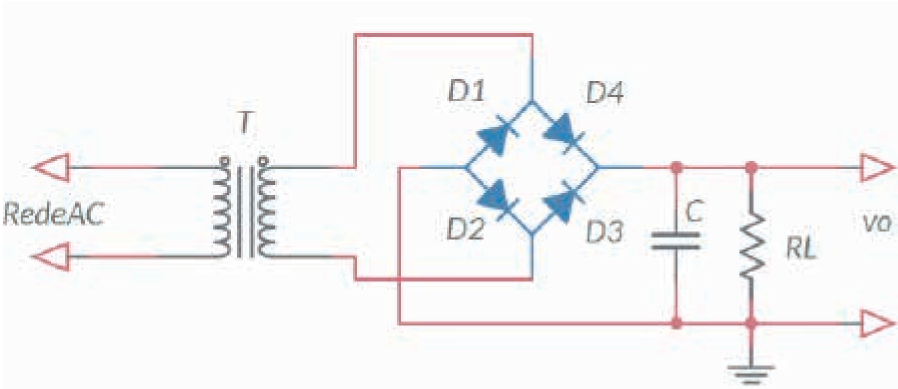


Figura 2 – Circuito retificador de onda completa em ponte.

Fonte: Zurro (2019).

Nesse circuito, os diodos são dispostos de forma a permitir que a corrente flua em direções alternadas durante cada semiciclo da corrente alternada de entrada. Como resultado, a corrente é retificada e flui em um único sentido ao longo de todo o ciclo, produzindo uma forma de onda pulsante, mas com polaridade constante (SADIKU, 2014). Após o sinal ser retificado, normalmente utiliza-se um capacitor (*RL*) em paralelo com a carga (*C*), conhecido como capacitor de *ripple*, como ilustrado na Figura 2.

A função do capacitor de *ripple* em um circuito retificador é reduzir as variações ou oscilações indesejadas na corrente contínua (DC) produzida pelo retificador. Essas variações são conhecidas como *ripple* ou ondulação, e são causadas pelo fato de que a corrente retificada não é perfeitamente constante, mas apresenta pequenas flutuações devido à natureza pulsante da retificação.

Ao conectar um capacitor em paralelo com a saída do retificador, o capacitor é capaz de armazenar energia durante os picos de corrente e fornecê-la durante os períodos em que a corrente é menor. Isso ajuda a suavizar a forma de onda da corrente, reduzindo o *ripple* e fornecendo uma corrente mais estável e próxima de um valor constante (BOYLESTAD, 2013).

Durante a polarização direta do diodo, ocorrem fenômenos como recombinação e dissipação de energia térmica. Esses processos causam uma queda de tensão no diodo. No caso de diodos de silício, a queda de tensão direta típica é de aproximadamente 0,7 volts. Já nos diodos de germânio, a queda de tensão direta é em torno de 0,3 volts (BOYLESTAD, 2013). Como em circuito retificador de onda completa em ponte utiliza 4 diodos, sendo 2 diodos polarizados de forma direta em cada semiciclo, esta queda de tensão é o dobro.

Três tipos de diodos foram objetos de estudos no quesito circuito retificador de onda completa: o diodo 1N4007, o diodo 1N4148 e o diodo Schottky 1N5819.

Um dos diodos mais comuns e amplamente utilizados na eletrônica é o diodo

1N4007. Ele pertence à família de diodos retificadores de silício e é amplamente disponível no mercado. O mesmo é capaz de trabalhar com uma corrente máxima de 1 ampere e uma tensão reversa de até 1000 volts.

Já o diodo 1N4148 é um diodo de uso geral de silício que também possui várias aplicações na eletrônica. Chama a atenção por apresentar comutação rápida, e, portanto, pode ser utilizado em circuitos onde é necessário um tempo de resposta rápido, como em circuitos de chaveamento e osciladores.

O diodo Schottky é usado em circuitos de comutação, sistemas de pulsos de curta duração e circuitos de proteção contra transientes. A queda de tensão na polarização direta desse diodo é muito pequena e tem comutação ultrarrápida, o que o faz adequado para as aplicações mencionadas. Estas características, nos chamou muito a atenção, e, portanto, nesta categoria, foi escolhido o modelo 1N5819.

4 I DESENVOLVIMENTO

O desenvolvimento deste trabalho baseou-se no método de pesquisa aplicada, amplamente utilizado na resolução de problemas de engenharia. A combinação desse método com a abordagem quantitativa, que envolve a compreensão de fenômenos físicos, aumenta ainda mais a eficácia do estudo. Juntos, esses métodos visam a pesquisa científica, explorando as leis gerais e princípios físicos de funcionamento relacionados ao protótipo gerador de energia elétrica, que constitui o principal objetivo deste trabalho.

Neste trabalho, foi utilizado cerâmicas piezoelétricas do tipo PZT-5A, disponíveis em forma de discos finos, polarizadas na direção transversal (modo espessura). Esses materiais são amplamente encontrados no mercado em diversas formas e tamanhos, tornando-os convenientes para o propósito deste estudo. Para facilitar ainda mais a fixação dos terminais às cerâmicas piezoelétricas, optaremos por utilizar os *buzzers*, que consistem em buzinas eletrônicas compostas por uma fina camada de material piezoelétrico colada a um disco de latão, como ilustrado na Figura 3.



Figura 3: Elementos piezoelétricos comerciais – *buzzers.*

Fonte: O autor (2022).

De forma específica, os seguintes materiais foram selecionados e utilizados na construção do protótipo gerador de energia elétrica:

- *Buzzers* de 35mm de diâmetro;
- Cabo elétrico para ligação;
- Diodos 1N4007,1N4148,1N5819;
- Capacitores Eletrolíticos 100µF, 470µF, 1000µF-25V;
- Resistores 330Ω±1%(1/4W), 1kΩ±1%(1/4W), 10kΩ±1%(1/4W);
- LEDs SMD alto brilho (4 W).

Equipamentos, como ferro de solda, osciloscópio e multímetro digital, também foram utilizados.

O protótipo como um todo é composto por três partes: fonte de vibração, onde estão fixados os elementos *buzzers* (1); circuito retificador (2); armazenamento ou consumo imediato da energia elétrica gerada (3).

A fonte de vibração (1) é o elemento principal este trabalho. Um conjunto de transdutores piezoelétricos, fixo neste local, é capaz de extrair energia mecânica de vibração dos motores elétricos CA, máquinas rotativas, unidades condensadoras de ar condicionado, entre outros. Esses equipamentos geralmente operam continuamente, apresentando vibração constante, o que os torna, locais ideais para a utilização de elementos piezoelétricos para captação de vibração. Isso difere da abordagem comumente encontrada em outros trabalhos, que utilizam elementos piezo para gerar energia elétrica por meio da energia mecânica de pedestres passando por tapetes contendo buzzers, nas calçadas, ou, carros e/ou ônibus nas ruas e estradas.

O circuito eletrônico (2) consiste em pontes retificadoras de diodos e capacitores, um para cada transdutor. O objetivo desse circuito é captar os picos de tensão elétrica gerados pelos transdutores, retificá-los e convertê-los em tensão contínua. Esses picos de tensão são gerados tanto na tração quanto na compressão de cada célula piezoelétrica.

Após passar pelo circuito retificador, a corrente elétrica, agora em forma de corrente contínua, é utilizada de forma síncrona para acender quatro pequenos LEDs e/ou armazenada em capacitores (3).

A energia armazenada pode alimentar dispositivos eletrônicos de baixa potência, como modens *Wi-Fi*, radares de trânsito, câmeras IP e até mesmo carregar outros dispositivos, como *smartphones*, fones de ouvido sem fio e *tablets*.

Uma representação esquemática do trabalho é apresentada na Figura 5. Os elementos piezoelétricos (buzzers), também conhecidos como transdutores, são fixados na estrutura, bancada ou carenagem dos motores elétricos ou máquinas rotativas. A energia mecânica é convertida em energia elétrica pelo efeito piezoelétrico direto e retificada com o uso da eletrônica. Por fim, ela é utilizada instantaneamente ou armazenada na bateria.

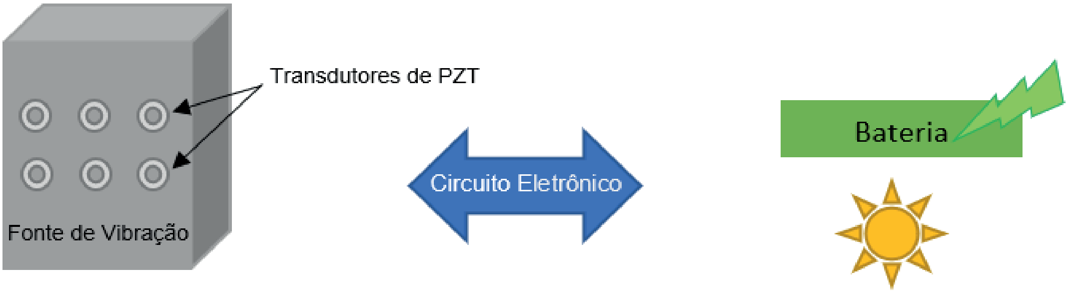


Figura 4: Esquema representativo do desenvolvimento do trabalho.

Fonte: O autor (2022).

5 I RESULTADOS E DISCUSSÕES

As máquinas rotativas são grandes fontes de energia de vibração. Em muitos casos, essa vibração possui pequenas amplitudes e alta frequência, como ocorre nos ambientes que cercam os motores elétricos. Diante desse cenário, decidimos selecioná-lo como objeto de estudo, com o objetivo de captar a energia mecânica de vibração de um motor elétrico e convertê-la em energia elétrica por meio do efeito piezoelétrico direto, do material piezoelétrico (*buzzers*). Para isso, utilizamos um motor elétrico de corrente alternada (CA) da marca EBERLE, ligado à rede elétrica convencional de 110 V/60 Hz. O motor possui uma potência de ½ cv e é constituído por dois polos. Ele foi fixado em uma bancada com eixo livre (sem roldana), conforme ilustrado na Figura 5.



Figura 5 – Motor Elétrico CA da EBERLE.

Fonte: O autor (2022).

Uma abordagem óbvia seria fixar os *buzzers* diretamente no corpo do motor. No entanto, isso seria um grande erro por dois motivos:

- os elementos piezoelétricos captariam os ruídos da rede elétrica de 60 Hz;
- o campo magnético gerado pelo motor induziria correntes de Foucault nos ele-

trodos dos elementos piezo.

Em ambas as situações, haveria uma diferença de potencial que não seria proveniente da vibração do motor ou do ambiente em que ele está localizado. Portanto, não nos interessa! Para contornar essa questão, foi necessário isolar eletricamente os *buzzers* da carcaça do motor e afastá-los do seu corpo, conforme ilustrado na Figura 6.

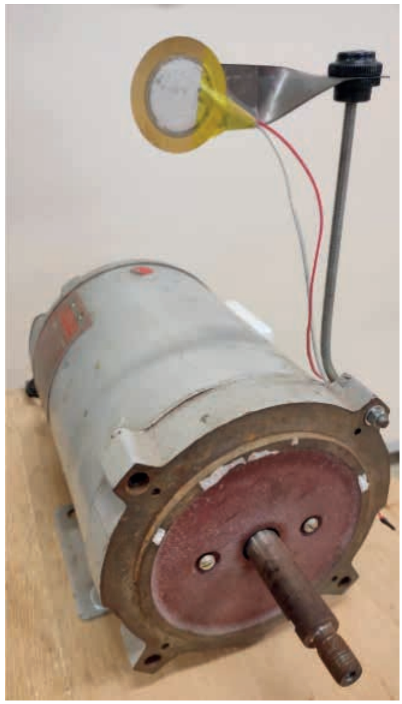


Figura 6 – Montagem e fixação de um elemento Piezoelétrico.

Fonte: O autor (2022).

O elemento piezo, neste caso um *buzzer,* de 35 mm de diâmetro, tem a capacidade de captar a energia de vibração do sistema composto pelo motor, bancada, haste de fixação, entre outros elementos. Essa energia é convertida em picos de tensão elétrica que se repetem ao longo do tempo, formando senoides com diferentes frequências e amplitudes, como ilustrado na Figura 7. Nessa imagem, é possível observar o registro da tela do osciloscópio na função Matemática - FFT (Transformada Rápida de Fourier), que confirma a presença de picos em diversas amplitudes e frequências.

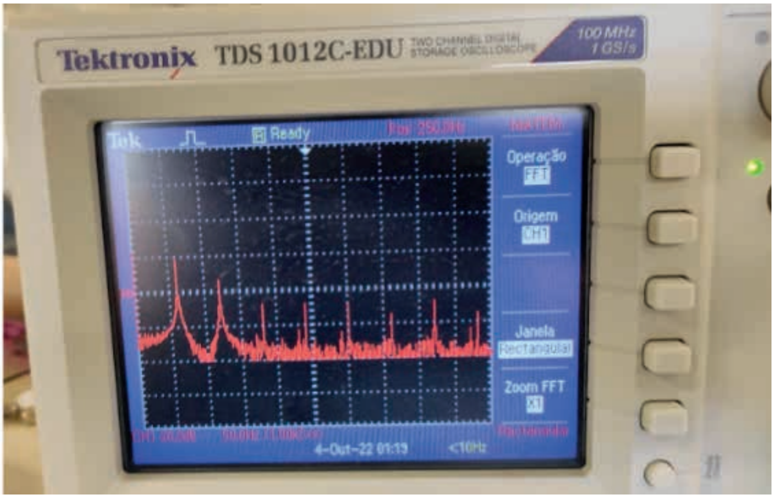


Figura 7 – Registro da tela do osciloscópio da função matemática - FFT.

Fonte: O autor (2022).

Para converter este sinal, que possui característica AC (corrente alternada), em CC (corrente contínua), foram construídos inicialmente três circuitos retificadores de onda completa, utilizando diodos de diferentes tipos:

- 1N4007;
- 1N4148;
- 1N5819.

A Figura 8 ilustra a representação esquemática do circuito elétrico geral, construído utilizando o software MULTISIM Live, uma plataforma gratuita, disponibilizada no site da *National*. Notem, que a parte à esquerda do circuito (circuito retificador) deve ser replicada para cada elemento piezoelétrico, e é o objeto desta pesquisa.

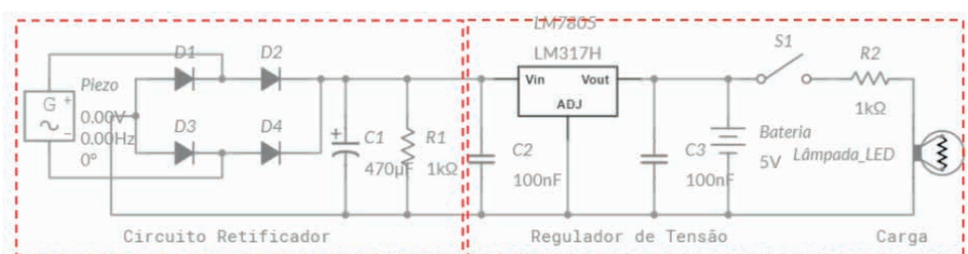


Figura 8 – Representação generalizada do circuito elétrico retificador e carga.

Fonte: O autor (2022).

Já a Figura 9, ilustra três pontes retificadoras de onda completa com os diodos, montadas em uma placa de fenolite. Foram utilizados os diodos 1N4007, 1N5819 e 1N4148.

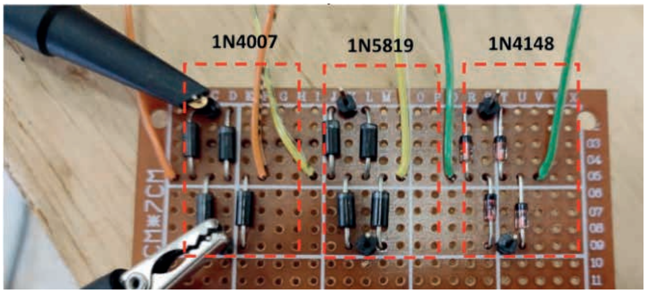


Figura 9 – Ponte retificadora de onda completa com diodos: 1N4007; 1N4148; e 1N5819.

Fonte: O autor (2022).

Realizaram-se diversas configurações para determinar o tipo ideal de diodo a ser utilizado no circuito retificador. Conforme o esperado, os diodos 1N5819, também conhecidos como diodos Shockley, demonstraram resultados mais satisfatórios devido à sua barreira de potencial em torno de 0,3 V. Essa confirmação pode ser observada nas Figuras 10, 11 e 12, que apresentam a resposta elétrica de um único elemento piezo. É perceptível que a Figura 12 exibe um sinal elétrico com um semiciclo mais próximo do ideal, com menor ruído e maior amplitude.

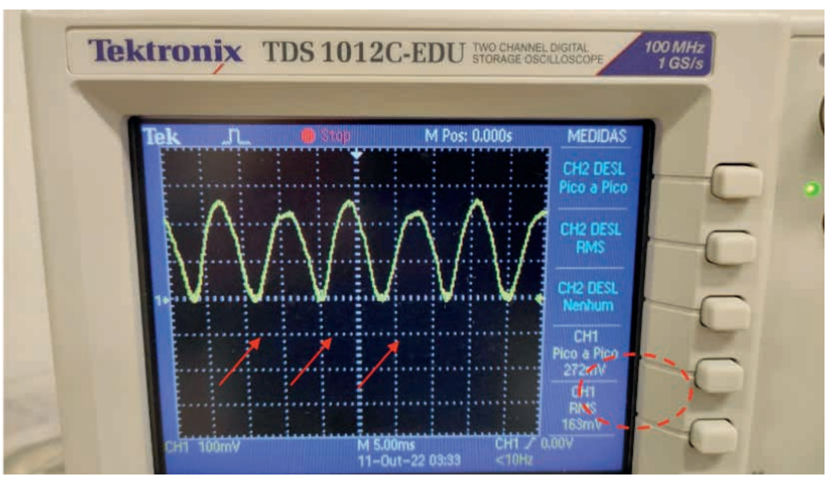


Figura 10 – Sinal elétrico retificado com a ponte composta por diodos 1N4007.

Fonte: O autor (2022).

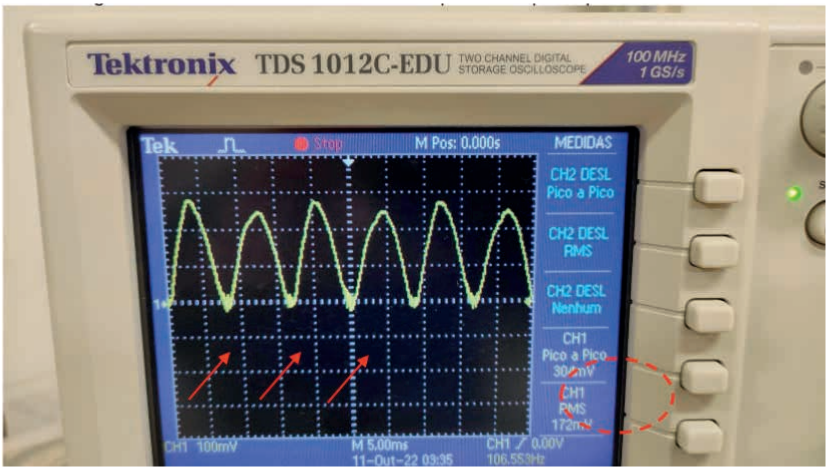


Figura 11 - Sinal elétrico retificado com a ponte composta por diodos 1N4148.

Fonte: O autor (2022).

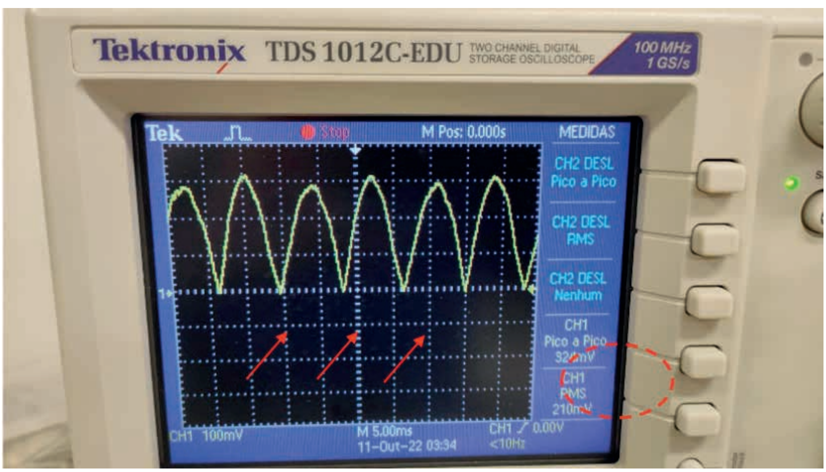


Figura 12 - Sinal elétrico retificado com a ponte composta por diodos 1N5819.

Fonte: O autor (2022).

Apresentaremos, a seguir, os resultados do protótipo, incluindo projeções e perspectivas, no quesito geração de energia elétrica e função do tempo de funcionamento.

O sistema foi construído com um único elemento transdutor de PZT, que converte a energia de vibração em eletricidade. Essa energia elétrica gerada foi utilizada para carregar um capacitor eletrolítico de 470 µF, levando-o de 0,0 V a 10,0 V em aproximadamente 1 minuto. Em seguida, o capacitor foi conectado a um resistor de 1 kΩ, em paralelo, que atuou como limitador de corrente. Por fim, quatro LEDs foram ligados em paralelo para demonstração visual do funcionamento. A Figura 13, ilustra os LEDs acessos, e a Figura 14, o protótipo sendo medido.



Figura 13 – LEDs acessos com a energia elétrica do protótipo.

Fonte: O autor (2022).

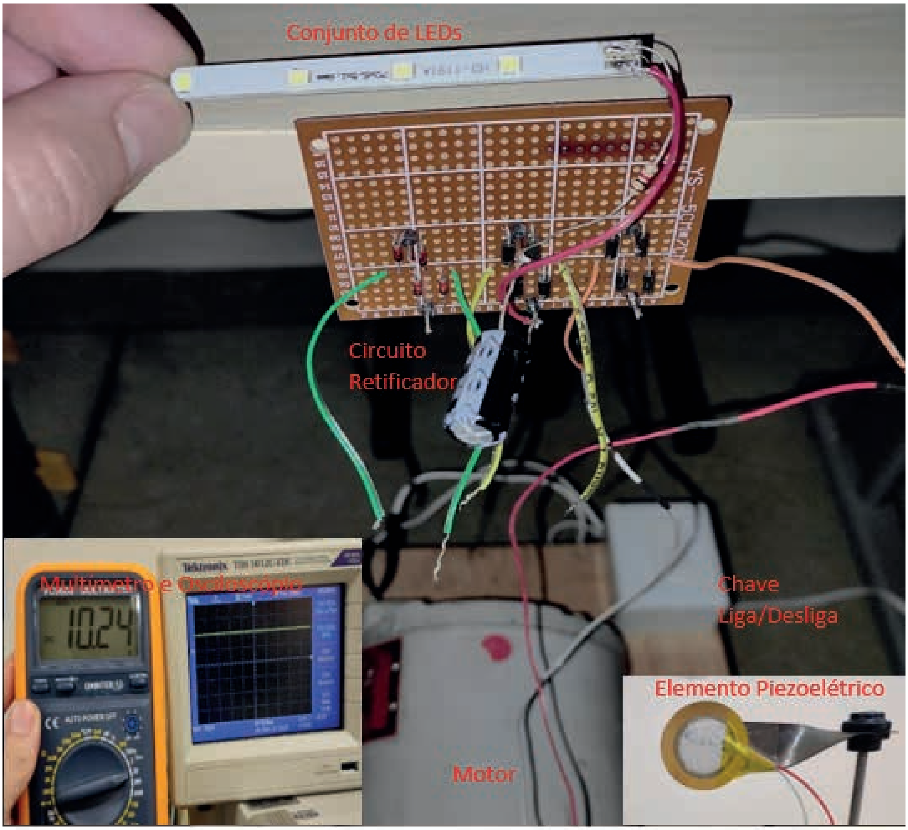


Figura 14 – Sistema de aquisição de energia elétrica implementado.

Fonte: O autor (2022).

Observe no canto inferior esquerdo da Figura 14 que há um osciloscópio conectado à saída do retificador, registrando a presença do sinal de corrente contínua (CC). O multímetro, na escala CC, confirmava a sua intensidade.

Devido a danos acidentais em alguns elementos piezoelétricos, o número de transdutores PZT disponíveis ficou limitado a apenas um, impossibilitando a utilização de um banco de carga ou bateria para armazenamento da energia elétrica gerada.

Com base nos resultados apresentados até o momento, realizou-se uma análise e uma prospecção, as quais serão descritas a seguir.

A primeira análise levou em consideração a capacitância do capacitor e a tensão

sobre ele, e desse modo, determinou-se a carga, em Coulomb, armazenada no capacitor, durante um determinado tempo. Temos

$$Q = C.V$$

$$Q = 470.10^{-6} \times 10{,}0$$

$$Q = 4{,}70mC$$

Normalmente a capacidade das baterias é expressa em mAh, que representa miliampere-hora. Para realizar uma análise nesse contexto, fizemos o uso de SADIKU 2014, que estabelece que 1,00 mAh equivale a 3,6 Coulombs. Portanto, essa carga corresponde a aproximadamente 1,31 x 10^{-3} mAh. Com base nesse valor, realizamos uma projeção considerando um número maior de sistemas de conversão de energia e um tempo de funcionamento mais longo. Os resultados obtidos foram organizados na Tabela 1.

N° de Elementos Transdutores (Buzzers)	**Tempo funcionamento do conversor de energia**	**Capacidade de energia armazenada em mAh**	**Tempo dos 4 LEDs aceso**
1	1 min	1,30 . 10^{-3}	3,6 s
1	1 h	78,0 .10^{-3}	3,6 min
10	1 h	780.10^{-3}	36 min
10	1 dia	18,7	14,4 h
100	30 dias	5610	4320 h

Tabela 1 – Prospecção da energia elétrica produzida pelo sistema conversor de energia.

Fonte: O autor (2022).

Embora algumas dezenas de µAh possam parecer uma quantidade pequena de energia elétrica gerada, devemos considerar que essa energia seria desperdiçada. À medida que aumentamos o tempo de funcionamento do sistema de conversão e a quantidade de elementos piezoelétricos, conseguimos obter energia suficiente para carregar completamente a bateria de um *smartphone*, que geralmente possui uma capacidade de aproximadamente 5000 mAh. Além disso, esta mesma energia, seria capaz de manter os mesmos quatro LEDs acesos por até 180 dias. Essas perspectivas, colocam este protótipo como um sistema potencial no mercado de energias alternativas.

6 I CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos resultados obtidos nesta pesquisa aplicada, há perspectivas promissoras para o futuro. A comprovação prática do efeito piezoelétrico direto em materiais como PZTs abre caminho para explorar fontes de vibrações mecânicas provenientes de máquinas rotativas em funcionamento, um local ainda pouco explorado para geração de energia elétrica

O protótipo apresentado neste trabalho, demostrou ser eficiente, pois apresentou resultados satisfatórios, e atingiu o seu objetivo com sucesso. A energia elétrica gerada por ele, após ser retificada por uma ponte de diodos, foi utilizada para o acendimento de quatro LEDs SMD de 1 W de potência, cada um.

Os resultados gerados pelo protótipo, com um único elemento piezo, foram analisados e nos levou a concluir que, se funcionar 1 hora por dia, gerará energia elétrica suficiente para manter 4 LEDs acesos por 3,6 minutos. E ainda, em prospecção, demostrou grande potencial de aplicação, quando expandido seu tempo de funcionamento e número de elementos piezo.

Por fim, podemos concluir que o protótipo gerador de energia elétrica, se apresenta como uma forma alternativa de gerar energia elétrica, para ser utilizada equipamentos eletroeletrônicos que utilizam baixa potência.

Como perspectivas futuras, existem várias possibilidades de aprimoramento e expansão do protótipo. É viável analisar a viabilidade de instalar o protótipo em outro local, como uma máquina condicionadora de ar, e identificar o ponto ideal de instalação levando em consideração a incorporação de mais elementos transdutores (buzzers). Além disso, uma opção interessante seria construir um banco de cargas com baterias, permitindo o armazenamento da energia elétrica gerada para uso posterior, somente quando necessário. Essas medidas contribuiriam para maximizar a eficiência e o aproveitamento da energia gerada pelo sistema.

REFERÊNCIAS

ATCP Engenharia Física. Applications note RT – ATCP-01. **Cerâmicas piezoelétricas: funcionamento e propriedades.** Disponível em: www.atcp-ndt.com/imagens/produtos/ceramicas/artigos/RT-ATCP-01.pdf. Acesso em 20 out de 2016.

BOYLESTAD, R. L.; NASHELSKY, L. **Dispositivos eletrônicos e teoria de circuitos.** 11. ed. São Paulo: Pearson Education, 2013.

BOLETIM TRIMESTRAL DE CONSUMO DE ELETRICIDADE. Ano III. Número 9. 1º trimestre de 2022. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-483/topico-634/Boletim%20Trimestral%20de%20Consumo%20de%20Eletricidade%20ANO%20III%20-%20N%C2%BA9.pdf Acesso em 05 Set de 2022.

GAIOTTO, F. J., **Desenvolvimento De Sensores Magnetoelétricos Multifuncionais E Sua Integração Em Dispositivos Inteligentes:** Detecção De Correntes Elétricas E Campos Magnéticos. 2017. Tese (Doutorado em Física) – Universidade Estadual de Maringá. UEM. Maringá, Paraná. 141 f. (2017).

MONTANHER, D. Z. **Compósitos Laminares Magnetoelétricos Aplicados ao Sensoriamento de Campos Magnéticos.** Tese (Doutorado em Física) – Universidade Estadual de Maringá. UEM. Maringá, Paraná. 95 f. (2013).

MOTA, B. C., **Captação E Geração De Energia No Pavimento Rodoviário Com A Aplicação De Células Piezoelétricas.** 2021. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transporte) - Universidade Federal Do Ceará. UFC, Fortaleza, Ceará. 133 f. (2021).

MULTISIM LIVE **Simulador de circuitos eletrônicos**. Disponível em: https://www.multisim.com/content/8pZewnb2JruTfigB9waxhc/prototipo-3/open/. Acessado em 20 Set de 2022.

MURATA ELECTRONICS, PZT **Application Manual,** June 1999. Disponível em http://www.aurelienr.com/electronique/piezo/piezo.pdf. Acesso em 16 Jan de 2022.

SADIKU, M. N. O.; MUSA, S. M.; ALEXANDER, C. K. **Análise de circuitos elétricos com aplicações**. Porto Alegre: AMGH, 2014.

VIEIRA, R. G. **A piezoeletricidade no cotidiano!** Ciência e Diversão. Disponível em: http://parquedaciencia.blogspot.com.br/2013/08/a-piezoeletricidade-no-cotidiano.html. Acesso em 03 mar 2017.

ZURO, V. R., **Tópicos Especiais em Engenharia Eletrônica**. 2021. Material didático institucional – UNINTER.

LILIAN COELHO DE FREITAS - Possui graduação em Engenharia da Computação pela Universidade Federal do Pará (UFPA), obtida em 2007. Possui mestrado em Computação Aplicada pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica (PPGEE) da UFPA, obtido em 2009. Em 2008, realizou estágio de mestrado no Instituto de Engenharia de Sistemas e Computadores (INESC/Porto - Portugal). Atuou como pesquisadora membro do Laboratório de Eletromagnetismo Aplicado (LEA/UFPA) de 2004 a 2014 e do Laboratório de Sensores e Sistemas Embarcados (LASSE/UFPA) de 2008 a 2012. Atuou como Pesquisadora Visitante no *Georgia Institute of Technology* (Atlanta, Georgia, Estados Unidos), no período de Março/2012 a Fev/2013. Desde 2016 atua como professora do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará (IFPA) na área de Informática. Desde 2020 é membro do Conselho Editorial da editora Atena. Tem diversos trabalhos científicos publicados, envolvendo publicações em livros, revistas e eventos científicos. Seus interesses de pesquisa são: telecomunicações (comunicações sem fio e rádio cognitivo), *machine learning* e educação.

INNOVATE:

ENGENHARIA ELÉTRICA E DE COMPUTAÇÃO

www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br
@atenaeditora
www.facebook.com/atenaeditora.com.br

Atena
Editora
Ano 2023

INNOVATE:

ENGENHARIA ELÉTRICA E DE COMPUTAÇÃO

www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br
@atenaeditora
www.facebook.com/atenaeditora.com.br

Atena Editora
Ano 2023